УЧРЕДИТЕЛЬ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Состав редколлегии

Главный редактор

Абрамов Андрей Дмитриевич *– д-р техн. наук, доц.*

Заместитель главного редактора

Карасёв Сергей Владимирович – *канд. техн. наук, доц.*

Ответственный секретарь

Игумнов Алексей Андреевич *– канд. техн. наук*

Члены редколлегии

Бехер Сергей Алексеевич, профессор, доктор технических наук, СГУПС, г. Новосибирск

Давыдов Анатолий Вячеславович, профессор, д-р экон. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Дементьев Алексей Петрович, профессор, д-р экон. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Нехорошков Владимир Петрович, профессор, д-р экон. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Ильиных Андрей Степанович, профессор, д-р техн. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Ланис Алексей Леонидович, доцент, д-р техн. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Бабич Анатолий Васильевич, профессор, канд. техн. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Величко Дмитрий Валерьевич, доцент, канд. техн. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Яшнов Андрей Николаевич, доцент, канд. техн. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Пятаев Максим Викторович, доцент, канд. экон. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Тарасов Евгений Борисович, доцент, канд. техн. наук, СГУПС, г. Новосибирск

Сайт журнала:

https://fpvt.ru/

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 81137 от 25.05.2021

ISSN электронной версии: 2712-9195

FOUNDER

Siberian State University of Railway Engineering

Editors and Editorial Board

Editor-in-Chief

Abramov Andrey Dmitrievich Doctor of Engineering, Assoc. Professor

Deputy Editor-in-Chief

Karasev Sergey Vladimirovich – Doctor of Engineering, Assoc.

Executive Secretary

Igumnov Alexey Andreevich – Candidate of Engineering

Members of the Editorial Board

Becher Sergey Alekseevich, Professor, Doctor of Technical Sciences, STU, Novosibirsk

Davydov Anatoly Vyacheslavovich, Professor, Doctor of Economics, STU, Novosibirsk

Alexey Petrovich Dementiev, Professor, Doctor of Economics, STU, Novosibirsk

Nekhoroshkov Vladimir Petrovich, Professor, Doctor of Economics, STU, Novosibirsk

Ilyinykh Andrey Stepanovich, Professor, Doctor of Technical Sciences, STU, Novosibirsk

Lanis Alexey Leonidovich, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, STU, Novosibirsk

Babich Anatoly Vasilyevich, Professor, Candidate of Technical Sciences, STU, Novosibirsk

Velichko Dmitry Valeryevich, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, STU, Novosibirsk

Yashnov Andrey Nikolaevich, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, STU, Novosibirsk

Pyataev Maxim Viktorovich, Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, STU, Novosibirsk

Tarasov Evgeny Borisovich, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, STU, Novosibirsk

The website:
https://fpvt.ru/

The journal was registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media in 2021
Electronic version ISSN: 2712-9195

Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта

Научно-теоретический Журнал

№ 3 (6) · 2022 · ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ

Выходит четыре раза в год. Основан в 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Транспорт

Е.Г. Куликова, С.Я. Левенсон Влияние кинематических параметров инерционно-ударного рабочего оборудования на энергию разрушения различных покрытий при очистке стенок подвижного состава……. 5

С.В. Павлов, Р.Ю. Добрецов, А.Г. Семенов Гибридная силовая установка параллельного типа для использования на рельсовом транспорте…… 12

В.И. Кочергин, М.С. Галай Исследование поверхностей, восстановленных холодным газодинамическим напылением……... 18

Н.И. Соколов, О.А. Шаламова Исследование характеристик дорожного движения…….. 23

Е.С. Зинченко Совершенствование системы контроля энергетической эффективности подвижного состава……. 29

В.Ю. Игнатюгин, С.С. Емельянов К вопросу восстановления крупногобаритных деталей карьерных самосвалов……. 34

А.С. Чистяков, Т.О. Румянцева, М.Д. Швецова Оптические способы определения геометрических размеров пружины из рессорного комплекта вагона……. 39

Г. К. Щепотин О допустимых остаточных деформациях пути ……. 46

А.С. Пикалов, В.К. Милорадович, А.С. Ильиных Перспективы развития технологии шлифования рельсов …….. 55

П.А Литенко, Н.А Маслов Теоретическое обоснование применения экскаватора-погрузчика с учетом его энергетической эффективности … 64

Строительство и архитектура

А.А. Кузнецов, А. В. Пономарев, Г.В. Волчанин, К.И. Фомиченко Обработка изображений визуального контроля внутренних поверхностей полых железобетонных опор……. 70

А.В. Морозов, С.Я. Левенсон, М.А. Ланцевич Сменное оборудование гидравлического экскаватора для систематической оборки откосов инерционно-ударным рабочим органом……... 77

Fundamental and applied transport issues

Scientific journal

№ 3 (6) · 2022 · JULY - SEPTEMBER
Published twice a year. Established in 2020.

CONTENTS

Transport

E.G. Kulikova, S.Ya Levenson Effect of kinematic parameters of inertia-impact working equipment on the crushing energy of various coatings when cleaning rolling stock walls…… 5

S.V. Pavlov, R.Yu. Dobretsov , A. G. Semenov Power distribution control in the adaptive wheel-walking chassis module……... 12

V.I. Kochergin , M.S. Galay Investigation of surfaces restored by cold gas-dynamic spraying…….. 18

N.I. Sokolov, O.A. Shalamova Investigation of traffic characteristics……... 23

E.S. Zinchenko Improvement of rolling stock energy efficiency control system…. 29

V.Yu. Ignatyugin, S.S. Emelyanov On the issue of restoration of large-sized parts of quarry dump trucks……... 34

A.S. Chistyakov, T.O. Rumyantseva, M.D. Shvetsova Optical methods for determining the geometric parameters of a railroad car spring……. 39

G.K. Shchepotin About permissible residual deformations of the track…….. 46

A.S. Pikalov, V.K. Miloradovich, A.S. Ilinykh Prospects for the development of rails grinding technology…… 55

Litenko P.A. , Maslov N.A Theoretical substantiation of application of backhoe loader with considering its energy efficiency…… 64

Construction and architecture

A.A. Kuznetsov , A.V. Ponomarev, G.V. Volchanin, K.I. Fomichenko Image processing of visual inspection of internal surfaces of hollow reinforced concrete supports…… 70

A.V. Morozov, S.Ya. Levenson, M.A. Lantsevich Removable equipment of hydraulic excavator for systematic slope trimming with inertial impact working body……. 77

УДК 622.23.05
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_5

ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНЕРЦИОННО-УДАРНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭНЕРГИЮ РАЗРУШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ОЧИСТКЕ СТЕНОК ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Е. Г. Куликова[1,2], С.Я. Левенсон[1]

1. Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, Красный проспект, 54, г. Новосибирск, 630091, Россия

2. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: Рассмотрены различные методы очистки стенок подвижного состава от старых лакокрасочных покрытий. Описан комплект оборудования инерционно-ударного действия, разработанный для этих целей в ИГД СО РАН. Представлены результаты численных экспериментов по определению влияния частоты вращения и скорости подачи очистного оборудования на величину энергии удара, передаваемую в момент каждого контакта.

Ключевые слова: *инерционно-ударное разрушение, частота вращения, скорость подачи.*

EFFECT OF KINEMATIC PARAMETERS OF INERTIA-IMPACT WORKING EQUIPMENT ON THE CRUSHING ENERGY OF VARIOUS COATINGS WHEN CLEANING ROLLING STOCK WALLS

E. G. Kulikova[1,2], S. Ya Levenson[1]

1. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk, 630091, Russia

2. Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: Different methods of cleaning the the rolling stock walls from old paint coatings are considered. A suite of inertial-impact equipment developed for these purposes at the Institute of Mining of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences is described. The results of numerical experiments to determine the effect of the cleaning equipment rotational speed and feed rate on the impact energy estimation transmitted at the moment of each contact are presented.

Key words *inertial-impact crushing, rotation frequency, feed rate.*

Продолжительная эксплуатация средств железнодорожного подвижного состава связана с их периодическим осмотром и ремонтом. При проведении дефектоскопических и восстановительных работ возникает необходимость очистки стенок локомотивов и вагонов от ржавчины и старой краски.

Существуют различные методы очистки [1–8], однако из-за высокой твердости лакокрасочных покрытий большинство из них малопригодно для достижения поставленной цели. Разрушение таких материалов гидродинамическими и физико-химическими методами требует использования

большого объема едких химических веществ, опасных для здоровья обслуживающего персонала и требующих особых условий утилизации. Механические способы очистки с помощью металлических и полимерных щеток связаны с высоким износом чистящего оборудования, так как в следствие малой толщины разрушаемого слоя краски и большой силы прижатия к нему ворсинок увеличение жесткости последних вызывает опасность повреждения стенок вагонов.

В настоящее время наибольшее распространение получили пневмообразивные методы очистки [8–10], основанные на подаче песка или мелкой металлической дроби под большим давлением сжатого воздуха на обрабатываемую поверхность. Ударяясь в полете об стенку вагона, такие частицы обеспечивают растрескивание и удаление лакокрасочного слоя. Сила микроударов регулируется давлением сжатого воздуха в зависимости от предела прочности разрушаемого слоя, что предотвращает опасность повреждения металлоконструкции вагона. Однако применение таких методов связано с использованием большого количества чистящих материалов (песок, дробь), которые накапливаются в зоне проведения работ и не могут быть использованы повторно без предварительной обработки, включающей в себя промывку, сушку и грохочение. В связи с этим более прогрессивным является метод криогенного бластинга [11], обеспечивающий очистку поверхности гранулами сухого льда, подаваемыми под высоким давлением воздуха. Гранулы твердой углекислоты не только ударяются о лакокрасочное покрытие, но и способствуют его охлаждению, повышая хруплость и облегчая процесс разрушения. После взаимодействия с поверхностью сухой лед полностью испаряется, не требуя дополнительной утилизации. При всех достоинствах криогенное оборудование отличается высокой стоимостью конструкции и расходных материалов.

В ИГД СО РАН был разработан инерционно-ударный метод разрушения твердых материалов [12–14]. Для его реализации некоторое количество ударных элементов (УЭ) шарнирно закрепляется на осях ротора или барабана, вращающегося с помощью механического привода. В процессе вращения каждый УЭ накапливает кинетическую энергию, превращающуюся в энергию удара при контакте с разрушаемой поверхностью подобно работе механической щетки. Отличительной особенностью метода является то, что после удара сила прижима ударного элемента ослабевает, и за счет малой массы происходит отскок УЭ от разрушаемой поверхности. Поэтому последующего процесса резания не происходит.

Для очистки стенок подвижного состава инерционно-ударным методом был разработан комплект оборудования, основой которого является набор барабанов разной высоты (см. рис. 1). Каждый барабан состоит из цилиндрической обоймы, по периферии которой закреплено некоторое количество осей. На этих осях подвижно установлены ударные элементы (см. рис 1, *а*), представляющие собой цепочки, сплетенные из стандартных пружинных шайб (Шайба 12Н65Г ГОСТ 6402-70) (см. рис 1, *б*). При работе наружный контур ударных элементов плавно подводится к стенке вагона. Удар

по очищаемой поверхности наносится только периферийными шайбами УЭ, кинетическая энергия которых определяется скоростью вращения барабана и длиной цепочек.

а *б*

а – общий вид рабочего барабана; *б* – ударный элемент

Рис. 1. Оборудование для инерционно-ударной очистки стенок вагонов

В процессе использования вращающийся барабан постепенно перемещается вдоль стенки вагона. За счет свободной связи ударных элементов с осями барабанов и отсутствию трения после удара осуществляется копирование рельефа очищаемой поверхности без ее повреждения. При этом очистка ровных и гофрированных поверхностей осуществляется отдельно, что предотвращает преждевременное разрушение ударных элементов.

Направление нанесения удара и эффективность разрушения лакокрасочного покрытия зависит от отношения частоты вращения барабана и скорости его подачи вдоль обрабатываемой поверхности. Поэтому целью исследований было определение влияния этих параметров на величину энергии удара при различных значениях перекрытия периферийной шайбы с обрабатываемой поверхностью.

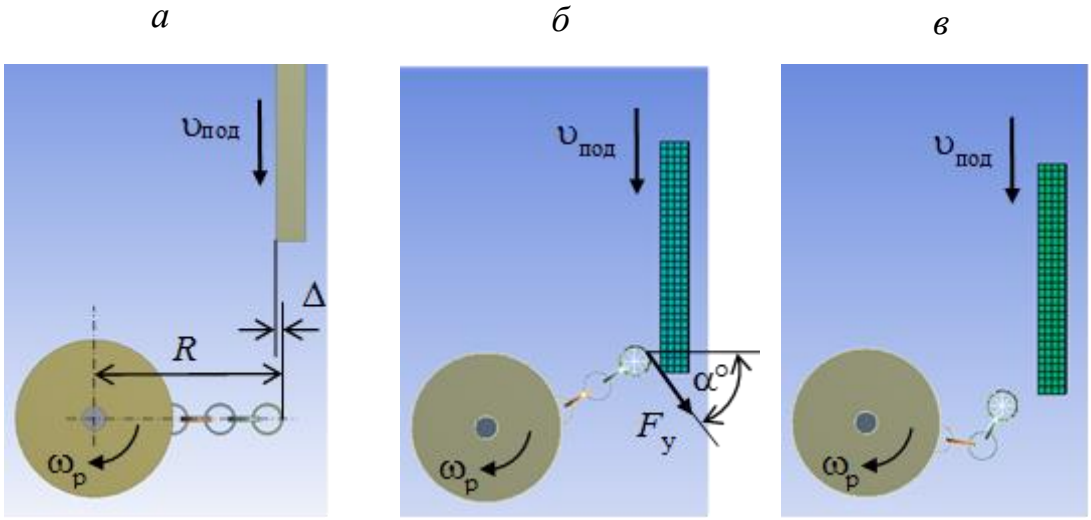
Исследования проводились методом численного моделирования с использованием программного комплекса Ansys.

Численная 3D-модель (см. рис. 2) включала в себя ротор с шарнирно закрепленным на нем ударным элементом, состоявшим из пяти шайб, и элемента, моделирующего стенку вагона.

Ротор представлял собой недеформируемую деталь и вращался относительно неподвижной оси со скоростью $\omega_р$ = 100 – 170 рад/с. Направление вращения показано на рисунке 2.

Его продольное движение заменено поступательным перемещением модели стальной деформируемой стенки, скорость которой изменялась в пределах $\upsilon_{под}$ = 0,05 – 0,11 м/с.

Исследовалось попутное движение ротора и стенки, при котором наиболее эффективно проявляется ударное воздействие периферийных шайб.



а – начальное положение; *б* – момент удара; *в* – отскок после удара

Рис. 2. Численная модель работы ударного элемента

Центробежная сила УЭ, а, следовательно, и сила удара $F_у$ (см. рис. 2, *б*) изменялась за счет величины перекрытия Δ (см. рис. 2, *а*), варьируемой в пределах (0,1 – 0,3)$D_ш$ (где $D_ш$ – внешний диаметр шайбы).

Контролируемым параметром была энергия удара $E_{уд}$. В момент контакта периферийной шайбы со стенкой на осциллограмме фиксировался резкий всплеск, после которого происходил отскок шайбы и деформация цепочки (см. рис. 2, *в*), принимающей исходное положение при дальнейшем вращении под действием центробежной силы.

В общем случае количество энергии, передаваемое в момент контакта каждой периферийной шайбы с поверхностью, может быть определено, как сумма ее кинетической и потенциальной энергий:

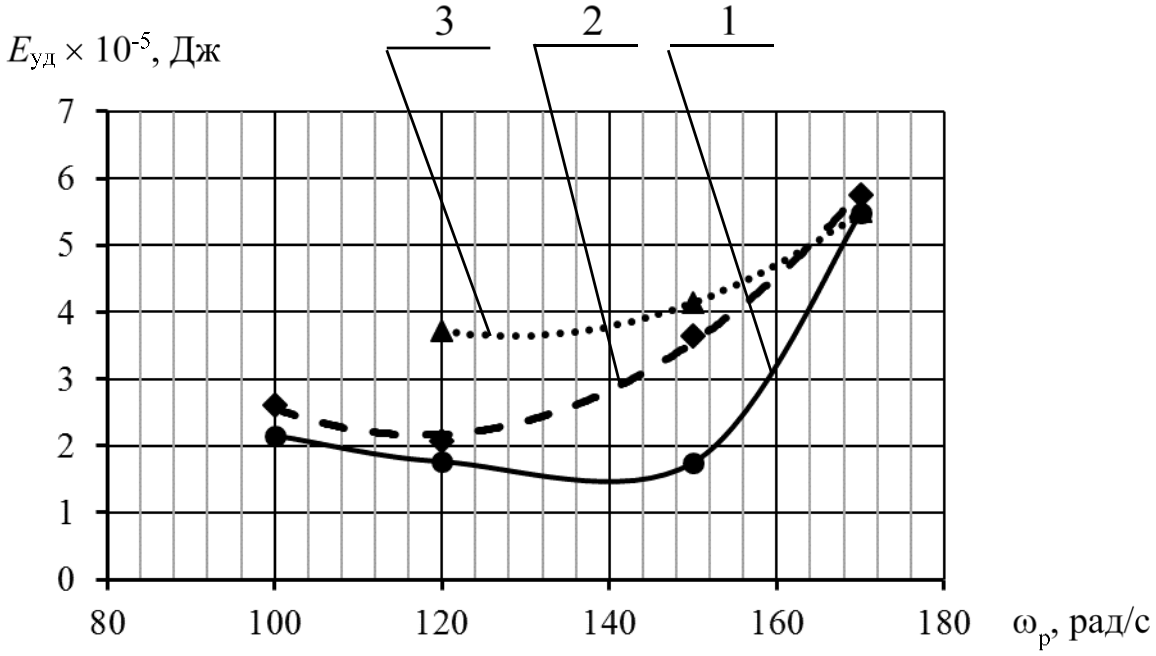
$$E_{уд} = \frac{m_ш(\omega_р R)^2}{2} + m_ш g(R - \Delta), \quad (1)$$

где $m_ш$ – масса шайбы; R – внешний радиус рабочего оборудования в рабочем состоянии (ротор + цепь); g – ускорение свободного падения

При малых скоростях вращения слагаемые уравнения (1) сопоставимы между собой.

С приближением чистящего оборудования к обрабатываемой поверхности величина перекрытия Δ увеличивается, а потенциальная энергия шайбы снижается. Однако, как показали полученные результаты экспериментов, при постоянной скорости $\upsilon_{под}$ на процесс разрушения влияет не только величина энергии, но и угол ее передачи, определяемый углом α° направления силы $F_у$ в

момент контакта. С уменьшением α° из двух составляющих силы удара основной становится нормальная $F_y\cos(\alpha°)$. Поэтому энергия, передаваемая разрушаемому слою, возрастает. В диапазоне частот вращения ротора 100 – 150 м/с рост величины перекрытия в три раза приводит к повышению энергии удара в 2,0 – 2,5 (см. рис. 3).



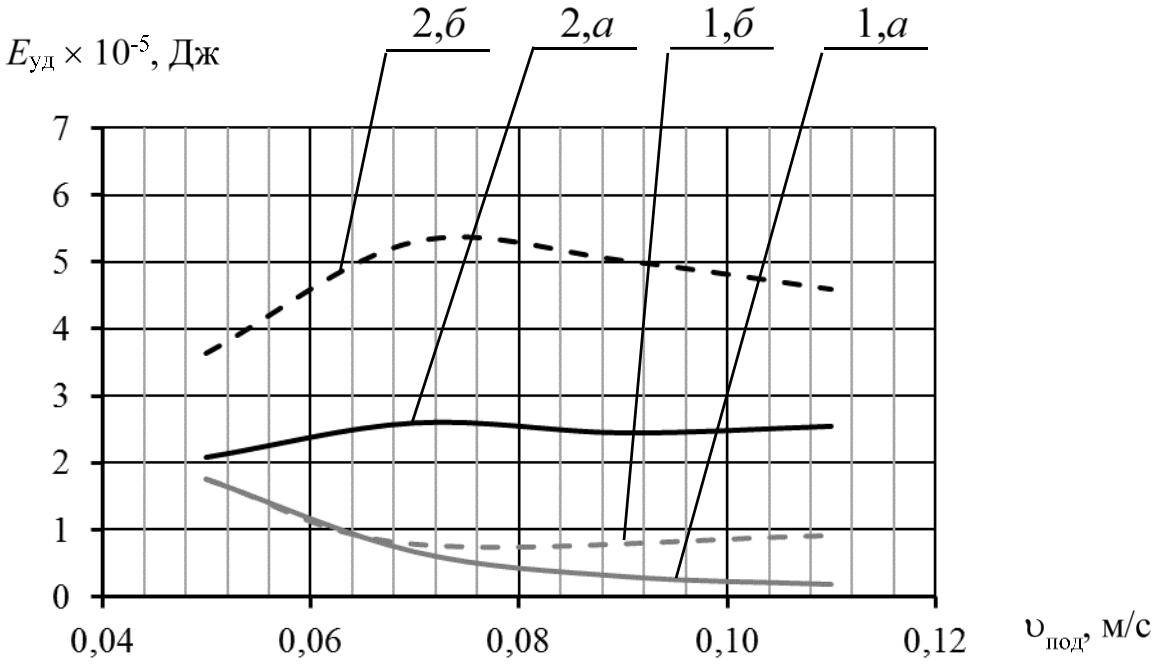
Величина перекрытия Δ: 1 – 0,1$D_ш$; 2 – 0,2 $D_ш$; 3 – 0,3$D_ш$

Рис. 3. Зависимость энергии удара от частоты вращения ротора при скорости подачи $\upsilon_{под}$ = 0,05 м/с

С дальнейшим увеличением скорости вращения ротора кинетическая энергия становится значительно больше потенциальной, поэтому влияние величины Δ становится меньше. При частоте вращения $\omega_р$ = 170 рад/с было зафиксировано практически одно и тоже значение $E_{уд}$ для всех рассматриваемых взаимных положений элементов численной модели.

В свою очередь было установлено, что продольная скорость подачи рабочего оборудования оказывает меньшее влияние на энергию разрушения чем скорость вращения ротора. При малой величине перекрытия (Δ = 0,1$D_ш$) ее рост приводит к изменению направления вектора силы удара и увеличению тангенциальной составляющей $F_y\sin(\alpha°)$ по отношению к нормальной. Повышение $\upsilon_{под}$ до 0,07 – 0,08 м/с привело к снижению $E_{уд}$ на 49 – 72 % в зависимости от частоты вращения ротора (см. рис. 4, кривые 1,*а* и 1,*б*). С увеличением глубины воздействия за счет приближения рабочего оборудования к обрабатываемой поверхности (Δ = 0,2$D_ш$) тангенциальная составляющая также начинает оказывать разрушающее воздействие [14], что приводит к росту суммарной энергии $E_{уд}$ на 25 – 40 % в зависимости от частоты вращения ротора. Однако, как показали результаты численных экспериментов, при скоростях подачи более 0,08 м/с энергия удара практически не изменяется, что дает возможность увеличивать скорость очистки поверхностей, с одной стороны, без

снижения качества обработки, а, с другой стороны, без опасности повреждения обрабатываемых поверхностей, в частности стенок вагона.



Величина перекрытия Δ: 1 – 0,1$D_ш$; 2 – 0,2 $D_ш$;
Частота вращения ротора $\omega_р$: *а* – 120 рад/с; *б* – 150 рад/с

Рис. 4. Зависимость энергии удара от скорости подачи рабочего органа $\upsilon_{под}$

ВЫВОДЫ

Благодаря простоте конструкции и высокой эффективности разрушения твердых покрытий малой толщины инерционно-ударный метод может быть использован для очистки стенок вагонов и локомотивов железнодорожного подвижного состава. С этой целью в ИГД СО РАН разработан комплект очистительного оборудования, основой которого являются ударные элементы в виде цепочек из пружинных шайб, шарнирно закрепленные на осях барабана.

В результате численных экспериментов установлено, что при постоянной длине ударного элемента основное влияние на энергию, передаваемую им при ударе об обрабатываемую поверхность является скорость вращения очистного барабана. Причем при частоте вращения более $\omega_р$ = 170 рад/с энергия удара практически не зависит от величины перекрытия периферийной шайбы и разрушаемого слоя. Скорость продольного перемещения рабочего оборудования относительно стенки вагона, значение которой более 0,08 м/с, практически не оказывает влияние на величину энергии удара. Таким образом в качестве параметров, определяющих кинематические характеристики очистного оборудования, могут быть использованы только производительность очистки и срок службы характеристики ударных элементов.

Библиографический список

1. Snell O. Современное оборудование для технического обслуживания подвижного состава // Железные дороги мира, М. 2005. № 1. С. 8.

2. Оборудование для технического обслуживания и ремонта подвижного состава железнодорожного транспорта: сайт. Режим доступа: https://www.irtrans.ru.

3. Борычев С. Н., Шемякин А. В., Аксенов А. З., Горбунов В. П., Синицин П. С. Технологии и установка для очистки деталей сельскохозяйственных машин при постановке на хранение // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, Краснодар. 2016. № 124. С. 314–329.

4. Новиков А. Н., Стратулат М. П., Севостьянов А. Л. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей, Орел. 2006. 332 с.

5. Патент 2571123 РФ. Состав для удаления лакокрасочных покрытий / М. А. Барабанов, К. Н. Егошин, заявитель и патентообладатель М. А. Барабанов, К. Н. Егошин, № 2014124096/05, заявл. 11.06.2014 // Опубл. В БИ № 35, 2015.

6. Патент 3259 РФ. Устройство для очистки боковых поверхностей кузовов цельнометаллических вагонов и рабочая головка к устройству / А. В. Малков, Н. Г. Бейманов, А. А. Шашуков, заявитель и патентообладатель Западно-Сибирская железная дорога, № 95116940/20, заявл. 29.09.1995 // Опубл. 1996.

7. Патент 2004129607 РФ. Щетка для устройства для очистки поверхности / Н. Д. Грей, заявитель и патентообладатель Н. Д. Грей, № 2004129607/12, заявл. 07.10.2004 // Опубл. В БИ № 8, 2006.

8. Кульков А. А., Евсеев Д. Г., Корытов А. Ю. Оценка эффективности процесса обработки поверхностей вагонов перед окраской // Металлообработка, СПб. 2016. № 4(94). С. 66–67.

9. Рожненко О. А., Тищенко Э. Э., Тамаркина Е. М., Корольков Ю. В. Моделирование процессов обработки фасонных поверхностей деталей свободным абразивом // Вестник Донского государственного технического университета. 2011. Т. 11. № 5 (56). С. 698–705.

10.Очистка колесных пар железнодорожного подвижного состава [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.finnblast.fi. (дата обращения 05.08.22)

11.Ирбистех представляет эффективные решения для очистки сухим льдом и производства сухого льда. Режим доступа: https://irbistech.com. (дата обращения 05.08.22)

12.Патент 31114 РФ. Устройство для очистки поверхности от покрытия, преимущественно стенок вагона / А. Я. Тишков, Х. Б. Ткач, Л. И. Гендлина, С. Я. Левенсон, Ю. И. Еременко, Ж. В. Сердцева, Н. Ю. Климов, заявитель и патентообладатель Институт горного дела – Научно-исследовательское учреждение СО РАН, № 2001109418/20, заявл. 06.04.2001 // Опубл. В БИ № 20, 2003.

13.Гендлина Л. И., Левенсон С. Я., Сердцева Ж. В. Использование инерционно-ударного способа очистки внутренних поверхностей труб // Изв. ВУЗов. Строительство. 2001. № 4. С. 71–74.

14. Сердцева Ж. В., Тишков А. Я., Гендлина Л. И., Левенсон С. Я. Об ударном разрушении пород средней прочности // Динамика и прочность горных машин. Сборник докладов. 2003. Т.1. С. 91–95.

УДК 625.144.5; 629.4.026; 629.424.27
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_12

ГИБРИДНАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА РЕЛЬСОВОМ ТРАНСПОРТЕ

С. В. Павлов[1], Р. Ю. Добрецов[2], А.Г. Семенов[2]

1. ООО "ПЕТРОРЕМСТРОЙ", 3-й Рыбацкий проезд, д. 3, литер Е, Санкт-Петербург, 192177, Россия

2. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия

Аннотация: предложена структура гибридной силовой установки параллельного типа, предназначенной для использования на железнодорожном транспорте. Рассмотрены принципы использования такой силовой установки и подходы к определению ее основных параметров. Обоснована возможность создания такой силовой установки с использованием технологий, освоенных в РФ.

Ключевые слова: электромеханическая трансмиссия, дрезина, автомотриса, локомотив.

POWER DISTRIBUTION CONTROL IN THE ADAPTIVE WHEEL-WALKING CHASSIS MODULE

S. V. Pavlov[1], R. Yu. Dobretsov[2], A. G. Semenov[2]

1. LLC "PETROREMSTROY", 3rd Rybatsky proezd, 3, letter E, St. Petersburg, 192177, Russia

2. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya, St.Petersburg, 195251, Russia

Abstract: the structure of a parallel-type hybrid power plant designed for use in railway transport is proposed. The principles of using such a power plant and approaches to determining its main parameters are considered. The possibility of creating such a power plant using technologies mastered in the Russian Federation is substantiated.

Keywords: hybrid transmissions, railcar, locomotive.

Применение гибридных силовых установок на железнодорожном транспорте в настоящее время не является новым техническим решением. Например, серийно выпускается многофункциональная автомотриса «Север» модели 2850 (производство ЗАО «Фирма ТВЕМА», см. рис. 1), силовая установка которой выполнена по принципу «последовательного гибрида»: дизельные двигатель внутреннего сгорания в составе установки MTU Power Park мощностью 500 кВт обеспечивает с помощью генератора выработку электроэнергии; привод моторных тележек осуществляется от четырех тяговых электродвигателей постоянного тока ТДМ-1М ДК120АМ (номинальная мощность каждого – 114 кВт). Масса брутто автомотрисы «Север» – 72 т.

Принцип «последовательного гибрида» является господствующим и обеспечивает тепловому двигателю возможность работы преимущественно на стационарном режиме (то есть с наибольшей экономичностью и минимальными выбросами вредных веществ). Преимуществом является и свобода компоновки (например, электродвигатели удается разместить в объеме

моторной тележки). Нет необходимости и в использовании бортового накопителя энергии высокой емкости.

Преимуществом же «параллельных» и «параллельно-последовательных гибридов» является наличие механической связи между тепловым двигателем и колесами транспортного средства, что позволяет искать алгоритмы управления, обеспечивающие наибольшие экономичности силовой установки и трансмиссии и сохранять подвижность транспортного средства при отказе электрической части. Например, если использовать дизель с системой питания, не зависящей от электроприводов, можно обеспечить подвижность машины после воздействия электромагнитного импульса и других техногенных факторов. Как будет показано далее, наличие тягового электрогенератора тоже не будет обязательным, его можно заменить обратимой электрической машиной. Вопрос же применения теплового двигателя для привода колес на железнодорожном транспорте вполне изучен и необходимые технические решения по организации достаточно сложной трансмиссии известны [1, с. 133-139].

Рис. 1. Многофункциональная автомотриса «Север»: внешний вид (слева) и схема размещения тягового электродвигателя на моторной тележке (справа)

Наиболее существенными недостатками такого технического решения представляются наличие преобразования всей энергии в электрическую, а из электрической – в механическую, что сопряжено с потерями. Мощность теплового двигателя систематически недоиспользуется (выход на полную мощность означает отказ от максимальной экономичности). Помимо электродвигателей в конструкции присутствует тяговый электрогенератор, который нельзя эффективно заменить обратимой электрической машиной.

Второй типичной чертой электрифицированного железнодорожного транспорта является использование электрических машин постоянного тока. Такое решение в большинстве случаев оправдано использованием постоянного напряжения в контактной электрической сети и достаточным диапазонов приспособляемости электродвигателей данного типа по угловой скорости и крутящему моменту. Такие электромашины делает относительно дешевым освоенное серийное производство. Типичные недостатки – большие (по сравнению с современными электромашинами) габариты и масса и меньшая

удельная энергоэффективность не представляются существенными, если не входят в противоречие с концепцией компоновки транспортного средства. Увеличение массы тягово-транспортной машины есть даже в некотором роде преимущество, так как растет и сцепной вес. Но для легких и компактных мотор-вагонов, рельсовых автобусов [1, с. 133-139], мотовозов [2, с. 59] очевидны преимущества использования электрических машин переменного тока, работающих при высоком переменном напряжении в паре с двухрежимным автоматическим редуктором (коробкой диапазонов) [3, с. 31-41].

Для тягово-транспортной машины существенный фактор – распределение масс по ведущим осям. Такая машина достаточный процент рабочего времени буксирует или толкает несамоходные транспортные средства. Таким образом, даже в упрощенном случае, при равномерном прямолинейном движении по горизонтальной поверхности, на машину действуют характерные внешние сила и момент: продольная сила, обусловленная внешней нагрузкой (на рис. 2 обозначена P_x), и опрокидывающий момент.

Опрокидывающий момент определен наличием тяговой силы, реализуемой в пятне контакта колеса и рельса. По своей сути он является моментом реакции. Рис. 2 иллюстрирует простейший случай – эффект разгрузки передней оси двухосного полноприводного мотор-вагона или автомотрисы. Следствием такой разгрузки, дополненной влиянием продольной силы, является снижение тягово-сцепных свойств передней тележки по отношению к задней. Подобный эффект известен для безрельсовых транспортных средств [4, с. 30-31].

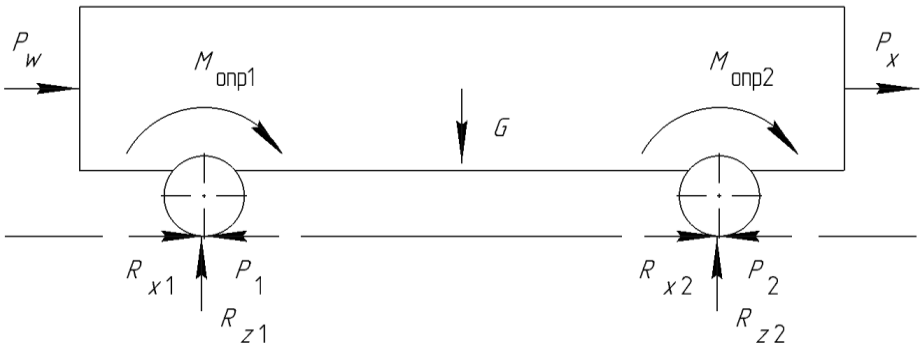


Рис. 2. Силы и моменты, действующие на автомотрису при равномерном движении на горизонтальном участке пути: P_w – аэродинамическое сопротивление движению; P_x – продольная внешняя сила; G – вес тягово-транспортной машины; $R_{x1,2}$ – сопротивление качению передней и задней тележек; $R_{z1,2}$ – нормальная реакция передней и задней тележек; $P_{1,2}$ – силы тяги передней и задней тележек; $M_{опр1,2}$ – опрокидывающие моменты передней и задней тележек

Таким образом, в режиме буксировки наиболее эффективно сила тяги может быть реализована последней моторной тележкой тягача (есть основания считать, что различия в нагрузке между осями этой тележки мало выражены).

Для передней тележки при таком характерном режиме эксплуатации ожидается тенденция к разгрузке от нормальной реакции и, соответственно, снижение тягово-сцепных возможностей.

Следовательно, при построении концепции перспективного гибридного тягово-транспортного рельсового средства рационально принять следующие базовые положения.

1. Для сохранения подвижности машины при отказе электрических компонентов следует сохранить механическую связь между тепловым двигателем и хотя бы одной осью задней тележки.

2. Привод других моторных тележек рационально реализовать с помощью электродвигателя. Следует рассмотреть «альтернативный» вариант применения электродвигателя и двухрежимной коробки диапазонов.

3. Увеличение автономности и экологической привлекательности транспортного средства возможно путем рационального сочетания использования теплового двигателя, бортового накопителя энергии и тяговых электродвигателей.

На рис. 3 предложена упрощенная схема трансмиссии, работающей с осью задней тележки. При разработке схемы использованы предложения, сформулированные в статье [5, с. 87-100].

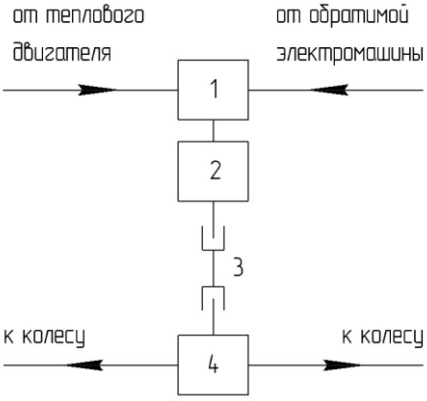


Рис. 3. Упрощенная схема трансмиссии привода осей: 1 – соединительный механизм; 2 – трансформирующий механизм; 3 – карданная передача; 4 – коническая пара

Опираясь на опыт безрельсового транспорта, следует предположить, что мощность обратимой электрической машины составит приблизительно 30% от мощности теплового двигателя.

В дополнение к перечисленным базовым положениям, предлагаются следующие принципы.

1. Построение тягового баланса транспортного средства и алгоритмов управления силовой установкой потребуют минимум этапа математического моделирования. Потребуется реализовать учет условий нагружения поезда (см. [6, с. 160-174; 7, с. 16-20; 8, с. 128-140] и др.).

2. Рациональная эксплуатация теплового двигателя подразумевает работу при «средних» нагрузках, динамические характеристики реализуются за счет энергии бортового накопителя с помощью тяговых электродвигателей. Таким

образом, тепловой двигатель развивает мощность в режиме максимального крутящего момента, достаточную для реализации «крейсерской» скорости машины.

3. Максимальная скорость движения реализуется при подключении теплового и электрических двигателей и не является долговременной. На этом режиме обратимая электрическая машина также работает в режиме электродвигателя.

4. Емкость бортового источника питания целесообразно задавать из условия возможности самопередвижения машиной до ближайшего поста ремонта (и является индивидуальной для транспортного средства и конкретной инфраструктуры).

5. При решении задач проектирования высоконагруженных узлов трансмиссия целесообразно использовать опыт танковой промышленности [9, с. 51-111], а вопросы анализа и синтеза планетарных редукторов рассмотрены, например, в публикации [10, с. 2-30].

Выводы

1. Рассмотренная структура силовой установки и трансмиссии является достаточно универсальной и может быть использована на различных по мощности и назначению рельсовых транспортных средствах.

2. Дальнейший интерес представляют расчетно-теоретические исследования, направленные на уточнение значений ключевых параметров силовой установки и трансмиссии в зависимости от условий эксплуатации конкретных объектов железнодорожного транспорта.

3. Необходимые для производства и эффективной эксплуатации предложенной силовой установки и трансмиссии технологии имеются в РФ и используются на железнодорожном и безрельсовом транспорте.

Библиографический список

1. Попович М.В. [и др.]. Путевые машины: учебник. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. 820 с.

2. Крымов А.В. Механическое оборудование автодрезин и мотовозов: учебное пособие. М.: ФГБОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. 139 с.

3. Поршнев Г.П. [и др.]. Трансмиссия с электромеханической передачей для тракторов и дорожно-строительных машин / Известия МГТУ МАМИ. 2020. №2 (44). С. 33 – 41.

4. Шеломов В.Б. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин. Тяговый расчет криволинейного движения. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 90 с.

5. Добрецов Р.Ю. [и др.]. Выбор схемного варианта построения трансмиссий военных машин с гибридной силовой установкой / Сборник статей научно-практической конференции «Разработка и использование электрических трансмиссий для образцов вооружения и военной техники (ОАО

«ВНИИТрансмаш»), 20 октября 2016 г.». Санкт-Петербург: Издание ОАО «ВНИИТрансмаш». 2016. С. 87 – 100.

6. Блохин Е. П., Манашкин Л. А. Динамика поезда: Нестационарные продольные колебания. М.: Транспорт, 1982. 222 с. С. 160 – 174.

7. Гончаров Д.И., Кобищанов В.В., Антипин Д.Я. Исследование динамических характеристик самоходной автомотрисы методами математического моделирования / Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. №4. С. 16 – 20.

8. Сахаров П.А. Расчетно-экспериментальный метод исследования продольной динамики поезда / Механика. Исследования и инновации. 2020. Вып. 13. С. 128 – 140.

9. Поршнев Г.П. Проектирование автомобилей и тракторов. Конструирование и расчет трансмиссий колесных и гусеничных машин. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 126 с.

10. Шеломов В. Б. Планетарные коробки передач. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. 30 с.

УДК 621.793
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_18

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ХОЛОДНЫМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

В.И. Кочергин [1], М.С. Галай [1]

1. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация Представлены результаты исследования покрытий, полученных холодным газодинамическим напылением порошком на основе алюминия. Произведена оценка пористости и толщины покрытия в зависимости от режимов работы оборудования для напыления.

Ключевые слова: нанесение покрытий, газодинамическое напыление, восстановление деталей

INVESTIGATION OF SURFACES RESTORED BY COLD GAS-DYNAMIC SPRAYING

V.I. Kochergin [1], M.S. Galay[1]

1. Siberian State Transport University, 191 Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract The research of coatings obtained by cold gas-dynamic spraying with aluminum-based powder is presented. The porosity and thickness of the coating were estimated depending on the operating modes of the spraying equipment.

Keywords: coating, restoration, gas dynamic spraying, restoration of parts

Введение

Мировые тенденции в области эксплуатации транспортных средств связаны с развитием энерго- и ресурсосберегающих технологий. К ресурсосберегающим технологиям относятся технологии восстановления и упрочнения изношенных деталей. В настоящее время большинство предприятий, эксплуатирующих транспортные средства, отдают предпочтение ремонту и восстановлению изношенных деталей, поскольку экономически выгодно произвести восстановление деталей, а не покупать новые. На рынке запасных частей преобладают восстановленные детали, они в 1,5 – 2 раза дешевле новых.

Значительное место в технологиях восстановления и упрочнения получили методы нанесения покрытий. Существует два вида нанесения покрытий. Первый вид заключается в том, что напыление производят газодинамическим способом частицами материала покрытия размером от 10 до 150 мкм. Нанесение покрытий по второму виду происходит при пониженном давлении за счет конденсации атомов и ионов на поверхности изделия.

На сегодняшний день на рынке услуг по восстановлению деталей машин наибольшую востребованность находит метод холодного газодинамического напыления. Данная технология была разработана в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН и заключается в том, что в специальной установке мелкодисперсный порошок разгоняется до сверхзвуковой скорости, затем частицы порошка бомбардируют обрабатываемый материал, образуя на

нем слой покрытия [1-8]. Отличительной особенностью данной технологии является то, что при формировании покрытия падающие на подложку частицы порошка не имеют высокую температуру, и тем самым не изменяют структуру и механические свойства материала подложки.

В данной работе проводится исследование поверхностей, восстановленных холодным газодинамическим напылением порошком на основе алюминия.

Материал и методы исследования

Для исследования качества поверхности напыленного покрытия, сформированного газодинамическим напылением, были подготовлены образцы. В качестве материалов образцов использовалась углеродистая качественная сталь марки 10 толщиной 10 мм и размерами 30*30 мм. Подготовку поверхности к напылению и само напыление осуществляли на специальном оборудовании ДИМЕТ [9]. Для напыления покрытия был выбран порошок марки А-80-13, химический состав которого составляет 55% Al, 15% Zn, 30% Al_2O_3. Выбор данного порошка обусловлен тем, что в рекомендациях [9,10] указано, что данный порошок применяется для восстановления изношенных поверхностей в алюминиевых, стальных и чугунных деталях.

Напыление осуществляли на трех режимах: «2», «3», «4». Согласно инструкции по оборудованию ДИМЕТ, каждый режим имеет отличительные особенности по температуре нагрева напыляемого порошка. На образцах в соответствии с выбранным режимом наносили по 10 проходов. Перед нанесением порошка А-80-13 поверхность образцов обрабатывалась электрокорундом дисперсностью 15-20 мкм (корунд марки К-00-04-16) .

После нанесения покрытий оценивали толщину и пористость покрытия, а также шероховатость покрытия после механической обработки. Для исследования толщины покрытия образцы шлифовали и полировали. Шлифование производилось при помощи шлифовальной бумаги зернистостью от Р180 до Р1000. Полирование осуществляли на полировальном станке с применением алмазной пасты. Толщину покрытия измеряли с помощью портативного микроскопа Levenhook при увеличении х10. Толщину оценивали в трех точках: вначале образца (1), в середине (2) и в конце образца (3) (см. рис. 1).

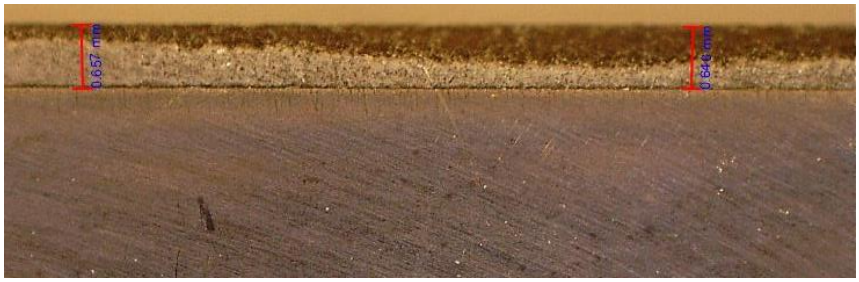


Рис.1. Измерение толщины напыленного слоя

Пористость оценивали по методу Глаголева по соотношению:

$$П = \frac{\sum l}{Li} * 100 \qquad (2.1)$$

где $П$ – пористость, %; $\sum l_i$ – суммарная длина отрезков, попадающих на поры; L_i – общая длина секущей линии.

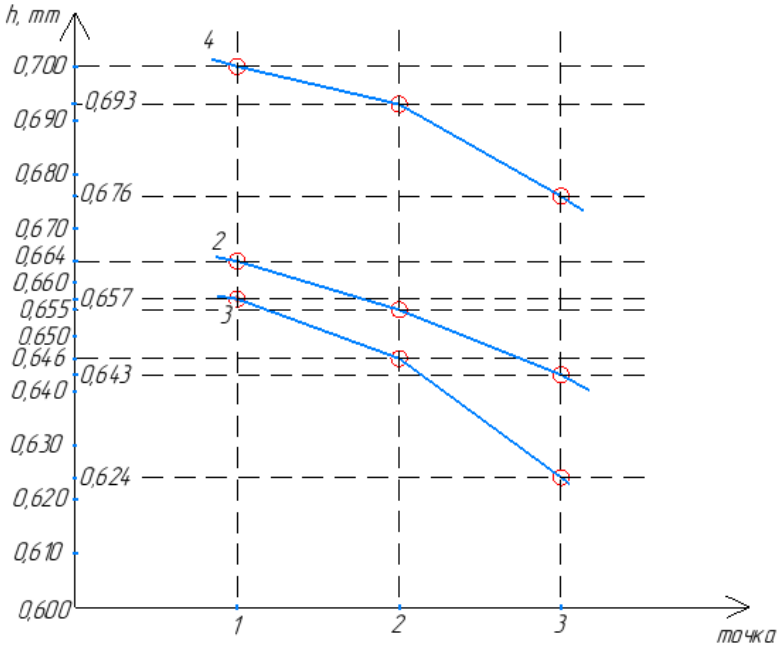
Рис. 2. Оценка пористости покрытия

На образцах с помощью микроскопа и программного продукта MicroCapturePro были нанесены секущие линии на исследуемый участок и измерены длины отрезков пор (см.рис.2.).

Шероховатость покрытия после механической обработки измеряли с помощью профилометра TR200.

Результаты исследования

Результаты измерения толщины напыленного слоя в зависимости от режимов обработки представлены на рисунке 3.



3,4,5 – режим работы оборудования

Рис.3 График зависимости толщины покрытия от режима работы оборудования

Толщина напыленного слоя h находится в диапазоне от 0,62 до 0,7 мм. Наибольшая толщина напыленного слоя наблюдается на режиме «4», а наименьшая – на режиме «3». Характер изменения толщины напыленного слоя

по длине образца для всех трех режимов работы оборудования одинаков. Вначале напыления наблюдается увеличение толщины, а в конце напыления толщина образца заметно снижается, по-видимому, это связано с растеканием напыляемого материала.

Согласно результатам измерения пористости покрытия (см. рис.4) установлено, что наибольшей пористостью обладает образец, который обработан по режиму «3».

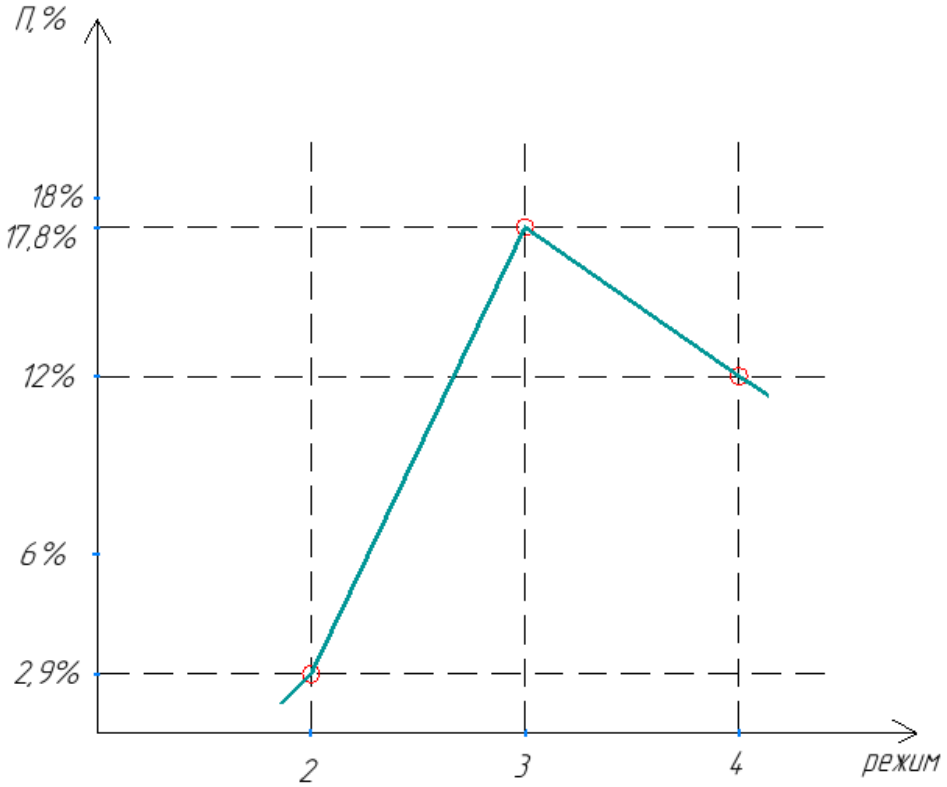


Рис.4 График зависимости пористости покрытия от режима работы оборудования

Принимая во внимание графики, представленные на рисунках 3 и 4, установлено, что на 2-м режиме напыленный слой имеет среднюю толщину и наименьший процент пористости, сравнительно с режимами «3» и «4». На 3-м режиме напыленный слой имеет наименьшую толщину и наибольший процент пористости, сравнительно с другими режимами. Режим «4» имеет наибольшую толщину напыленного слоя и средний процент пористости, сравнительно со 2-м и 3-м режимами.

Таким образом, восстановление изношенных поверхностей стальных изделий целесообразно производить холодным газодинамическим напылением порошком А-80-13 при «4» режиме работы оборудования.

Библиографический список

1. Козлов И.А., Лещев К.А., Никифоров А.А., Демин С.А. Холодное газодинамическое напыление покрытий (обзор). Труды ВИАМ. 2020. № 8 (90). С. 77-93. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-8-77-93

2. Иваночкин П.Г., Данильченко С.А., Замшин В.А., Воропаев А.И. Определение физико-механических характеристик приповерхностных слоев, нанесенных с помощью газотермического напыления / Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. № 5. С. 42-45

3. Алмазов В.В., Васильев А.Ф. Основные результаты экспериментального исследования формирования газодинамического покрытия на стальной подложке / Металлообработка. 2010. № 5 (59). С. 30-36.

4. Витязь П.А., Белоцерковский М.А., Кукареко В.А., Калиновский Д.М., Сухоцкий П.Г., Ковалевская Ж.Г. Структура и свойства покрытий из стали 40х13, полученных с использованием различных методов газотермического напыления / Физическая мезомеханика. 2002. Т. 5. № 1. С. 29-36.

5. Харламов Ю.А., Полонский Л.Г., Нагорняк Ю.О., Наумчук В.Н., Яновский В.А. Критерии выбора материала покрытия и метода газотермического напыления / Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2017. № 258. С. 22.

6. Спасенко А.А., Чеверикин В.В., Травянов А.Я. Формирование структуры изделий из стали 316l, полученных методом холодного газодинамического напыления / Металловедение и термическая обработка металлов. 2021. № 10 (796). С. 52-55.

7. Бобкова Т.И., Деев А.А., Быстров Р.Ю., Фармаковский Б.В. Нанесение износостойких покрытий с регулируемой твердостью с помощью сверхзвукового холодного газодинамического напыления / Металлообработка. 2012. № 5-6 (71-72). С. 45-49.

8. Куприянов Г.В. Способ восстановления повреждений корпусных деталей военной техники холодным газодинамическим напылением / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 12-2. С. 433-446.

9. Оборудование и технология. URL: http://www.dimet-r.narod.ru/application.html (дата обращения: 27.09.2020).

10. Обнинский Центр порошкового напыления. URL: http://dymet.net/ (дата обращения: 22.09.2020).

УДК 625.096
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_23

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Н. И. Соколов, О. А. Шаламова
Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: в ходе работы анализируются основные характеристики дорожного движения: интенсивность движения транспортных потоков, выполняется расчет приведенной интенсивности к легковому автомобилю, строится условная картограмма интенсивности движения транспортных потоков, рассчитывается пропускная способность, найден коэффициент загрузки проезжих частей, построена гистограмма неравномерности интенсивности движения транспортных потоков по направлениям.

Ключевые слова: интенсивность движения транспортных потоков, пропускная способность, дорожные заторы, гистограмма неравномерности интенсивности движения, картограмма интенсивности движения, час-пик.

INVESTIGATION OF TRAFFIC CHARACTERISTICS

N. I. Sokolov, O. A. Shalamova
Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: in the course of the work, the main characteristics of road traffic are analyzed: the intensity of traffic flows, the calculation of the reduced intensity for a passenger car is performed, a conditional cartogram of the intensity of traffic flows is constructed, the throughput is calculated, the load factor of the carriageways is found, a histogram of the unevenness of the intensity of traffic flows in directions is constructed.

Key words: intensity of traffic flows, capacity, traffic congestion, histogram of uneven traffic intensity, cartogram of traffic intensity, rush hour.

Целью работы является исследование интенсивности движения существующего перекрестка в городе Новосибирске.

Как отмечалось ранее, что регулируемый перекресток ул. Г. Колонды – ул.Окружная является не единственной транспортной развязкой улиц г. Новосибирска с проблематичным проездом и который вошел в раздел «Самый глупый перекресток Новосибирска». [1,2]

Чтобы дать оценку состояния транспортного потока на исследуемом перекрестке перед авторами стоят следующие задачи:

1. Сбор объективной информации о количестве транспортных средств, проезжающих через исследуемый перекресток в «час - пик»;
2. Определить количество транспортных средств в разные интервалы времени на перекрестке, состав транспортного потока;
3. Рассчитать параметры транспортного потока на перекрестке;
4. Предложить меры по улучшению дорожной обстановки на участке.

Имеем Т – образный трёхсторонний перекресток, который имеет две проезжей части в каждом направлении. Каждая проезжая часть имеет две

полосы для движения. Перекресток со всеми разрешенными направлениями представлен на схеме рисунка 1.

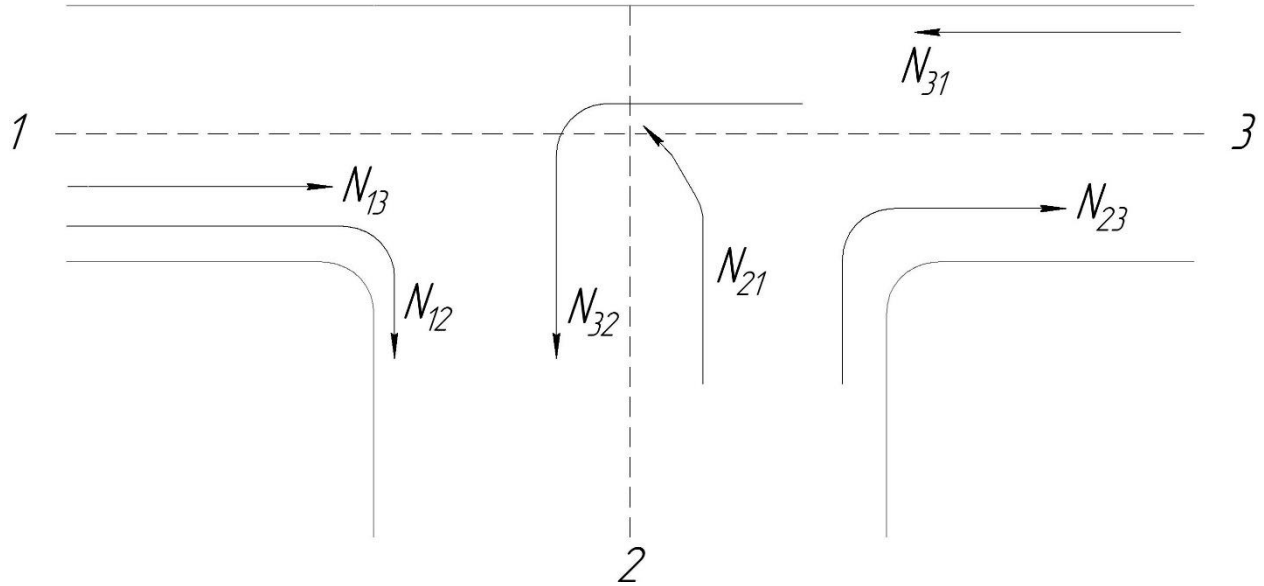


Рисунок 1 – Схема исследуемого перекрестка

Сбор объективной информации о количестве транспортных средств, проезжающих через исследуемый перекресток, был получен методом видео фиксации в будний день во время утреннего «час-пик» с 09:00 до 10:00.

Таблица 1 – Состав и интенсивность движения транспортных потоков на выбранном участке дорожной сети во время утреннего «час-пик»

№ направления	№ полосы	Интенсивность движения транспортных потоков авт/60 мин			
		Легковые	Грузовые	Автобусы	Автопоезда
1	2	773	65	8	3
	3	160	35	-	2
2	1	455	46	10	1
	3	17	7	8	1
3	2	12	10	7	-
	1	155	31	2	3

Результаты изучения состава и интенсивности движения транспортных потоков обычно оформляют в виде протокола в табличной форме (таблица 1) и в виде картограмм.

Состав транспортного потока характеризуется соотношением в нем транспортных средств различного типа. Так, общая численность автомобилей на перекрестке составила 1811 единиц. Преобладают легковые автомобили, которые составляют 1572 единицы или 86,8% общей численности. Кроме легковых автомобилей грузовые составляют 194 единицы или 10,71%, автобусы 35 единиц или 1,93%, автопоезда 10 единиц или 0,55%.

Расчет приведенной интенсивности движения транспортного потока проводится по каждому направлению и определяется по формуле [3]:

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{л}} \cdot k_{\text{л}} + N_{\text{гр}} \cdot k_{\text{гр}} + N_{\text{а}} \cdot k_{a} + N_{a/n} \cdot k_{a/n},$$

где k - коэффициент приведения к условно легковому автомобилю (для грузовых автомобилей и автобусов принимаем k=2, для автопоезда k=3[3]).

$$N_{12} = 928 \text{ авт}/60';$$
$$N_{13} = 236 \text{ авт}/60';$$
$$N_{21} = 570 \text{ авт}/60';$$
$$N_{23} = 50 \text{ авт}/60';$$
$$N_{32} = 46 \text{ авт}/60';$$
$$N_{31} = 230 \text{ авт}/60'.$$

По полученным данным приведенных интенсивностей вычерчиваем схему перекрестка, наносим на условную картограмму интенсивности движения транспортных потоков, которая представлена на рисунке 2.

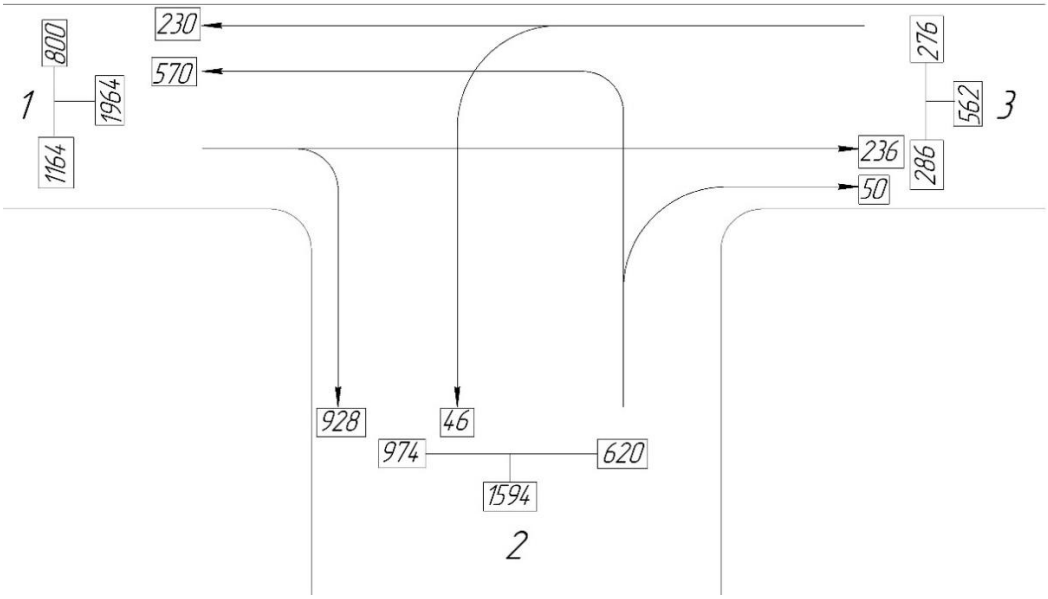


Рисунок 2 – Условная картограмма интенсивности движения транспортных потоков утром, авт/1ч

Из картограммы видно, что в первом направлении движется 1964 транспортных средства, во втором направлении 1594 транспортных средства, в направлении три 562 автомобиля за 1 час. Из расчета движения автомобилей по полосам:

N_{21} двигалось 570 авт/1ч;

N_{12} - 928 авт/1ч;

N_{13} - 236 авт/1ч;

N_{32} - 46 авт/1ч;

N_{23} - 50 авт/1ч;

N_{31} - 230 авт/1ч.

Расчеты, полученные по результатам видеофиксации, изображенные на картограмме (рисунок 2) и гистограмме (рисунок 3) на рассматриваемом участке дорожно – транспортной сети доказывают наличие неравномерности интенсивности движения транспортных потоков по направлениям.

Так, в направлении 2 и 3 выделяются полосы, где движение достигает минимальных значений 46 и 50, соответственно, что делает движение свободным. А также в том же направлении 2 движение по другой полосе достигает максимальных размеров. Такая пространственная неравномерность

транспортного потока во времени имеет важное значение в проблеме организации движения.

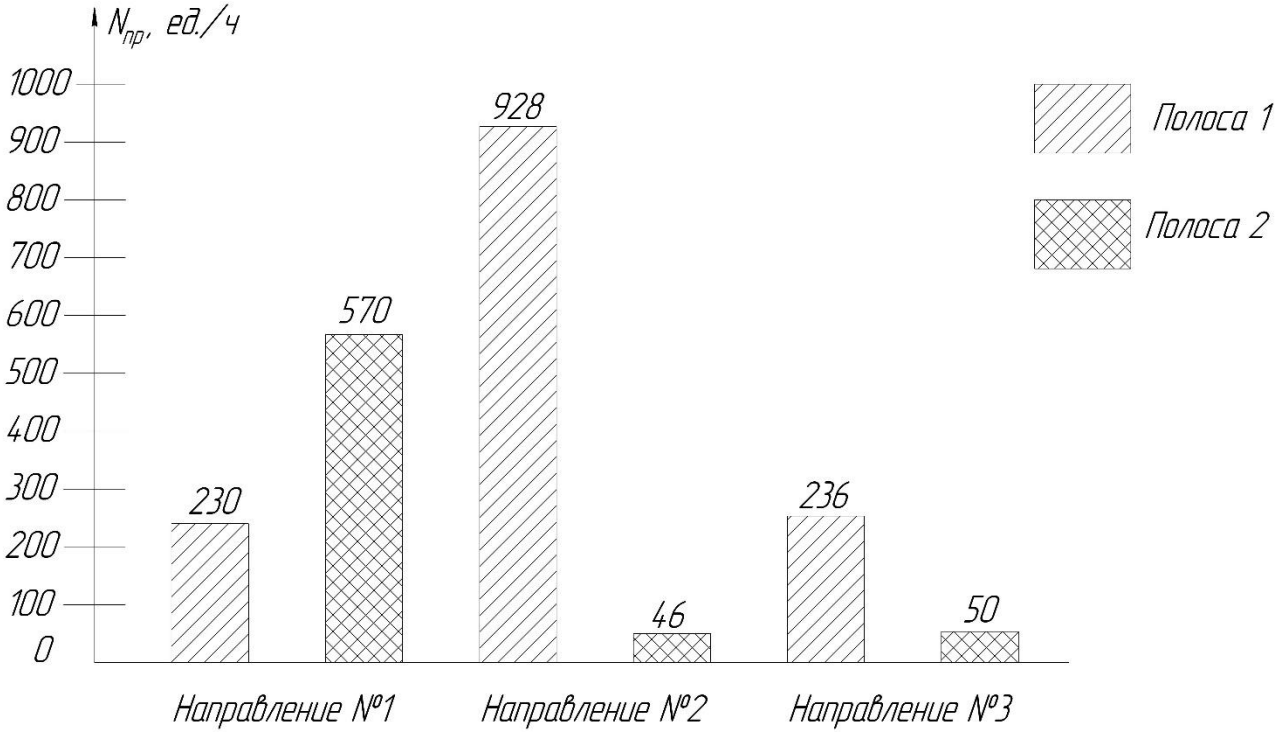


Рисунок 3 – Гистограмма неравномерности интенсивности движения транспортных потоков по направлениям утром

Принимая во внимание все многообразие модификаций термина пропускная способность дороги [3,4], применим такую классификацию, как разделение понятия пропускной способности на три разновидности: расчетная $P_р$, фактическая $P_ф$ и нормативная $P_н$ с целью более простого и четкого его применения.

Расчетную пропускную способность определяют теоретическим путем по расчетным формулам. Пропускная способность измеряется в одном или двух направлениях в рассматриваемых дорожных и погодно – климатических условиях: [3,4]

$$Р_{мп} = Р_n \cdot \alpha \cdot \varepsilon,$$

где $Р_n$ – пропускная способность одной полосы, α – коэффициент многополосности. Принимаем в расчетах для двух полосной проезжей части α=1,9, ε – коэффициент, учитывающий снижение пропускной способности за счет светофорного регулирования, принимаем ε=0,45 - 0,6 [4,5].

При предварительном расчете пропускной способности одной полосы проезжей части примем $Р_n$=2200 авт/ч: [3]

$$Р_{зn} = 2200 \cdot 1{,}9 \cdot 0{,}6 = 2508 \text{ авт/ч, тогда}$$

$$Р_{зхn} = \frac{2508}{3} = 836 \text{ авт/ч.}$$

Для определения уровня обслуживания данного перекрестка, который будет отражать скорость движения, время поездки, свободу маневрирования,

безопасность и удобство управления автомобилем [5] используем такую характеристику транспортного потока как коэффициент загрузки проезжей части по направлениям: [5]

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_{npi}}{P_{\text{мп}}};$$

$$Z_{1\ \text{напр}} = \frac{1964}{836 \cdot 2} = 1{,}17;$$

$$Z_{2\ \text{напр}} = \frac{1594}{836 \cdot 2} = 0{,}95;$$

$$Z_{3\ \text{напр}} = \frac{562}{836 \cdot 2} = 0{,}34.$$

Для обеспечения бесперебойного движения необходим резерв пропускной способности, учитывая, что при Z≥0,85 [5] на участке возникают заторы.

Таким образом, существующий нерегулируемый Т – образный трёхсторонний перекресток в направлении один и два движение очень сильно перегружено, вплоть до возникновения заторов. В направлении три движение свободное, беспрепятственное. Такие разные значения коэффициента загрузки определяют и разный уровень эксплуатационных условий по степени стесненности.

Исследуемые характеристики транспортного потока в зависимости от цели позволяют решать многие задачи, к примеру, организация перевозок и движения локально. В данном случае необходимо введение светофорного регулирования фаз на перекрестке [6,7], но для окончательного решения необходимо дополнительно составить схему конфликтных точек перекрестка и смоделировать пофазный разъезд транспортных средств [8].

Библиографический список

1. Н.И. Соколов, О.А. Шаламова Анализ транспортной ситуации на перекрестках г.Новосибирска // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта Научно-теоретический Журнал. 2019. С. 165-168.
2. Новости Новосибирска // NGS: Офиц. сайт. Режим доступа: https://ngs.ru/ (дата обращения 14.02.2022).
3. Организация движения: учеб.–метод. пособие / Н.С. Безотеческих, Я.А. Борщенко. – Курган: Изд-во КГУ, 2012. - 26 с.
4. Организация и безопасность дорожного движения: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Н. Пугачѐв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. - Москва: Издательский центр «Академия», 2009. - 272 стр.
5. Организация и безопасность движения: учеб. пособие /И. Н. Пугачёв. – Хабаровск: Изд–во Хабар. гос. техн. ун–та, 2004. –232 с.
6. ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ // Docs: Офиц. сайт. Режим доступа: https:// docs.cntd.ru / (дата обращения: 24.08.2022).

7. ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ 218 // Rosavtodor: Офиц. сайт. Режим доступа: https://rosavtodor.gov.ru / (дата обращения: 01.09.2022).

8. Потапова И. А., Бояршинова И. Н., Исмагилов Т. Р.: Методы моделирования транспортного потока. Москва: Фундаментальные исследования: № 10-2. 2016. 338-342 с.

УДК 629.4.069

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Е.С. Зинченко

Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация. В данной статье содержатся результаты совершенствования аналитической системы контроля энергетической эффективности специального подвижного состава железнодорожного транспорта. С этой целью в состав системы был включен датчик частоты вращения коленчатого вала и проведена корректировка заложенной в микропроцессор нагрузочной характеристики. В результате получены данные о реальном соотношении режимов работы подвижного состава на примере снегоуборочной машины СМ-2, а также подтверждена возможность экономии топлива при внедрении предлагаемых принципов контроля.

Ключевые слова: специальный подвижной состав, дизель-генератор, энергетическая эффективность, технический мониторинг, расход топлива.

IMPROVEMENT OF ROLLING STOCK ENERGY EFFICIENCY CONTROL SYSTEM

E.S. Zinchenko

Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract. This article contains the results of improving the analytical system for monitoring the energy efficiency of special rolling stock of railway transport. To this end, the crankshaft speed sensor was included in the system and the load characteristic embedded in the microprocessor was corrected. As a result, data were obtained on the real ratio of rolling stock operating modes using the example of a SM-2 snowplow, as well as the possibility of fuel economy when implementing the proposed control principles was confirmed.

Key words: special rolling stock, diesel generator, energy efficiency, technical monitoring, fuel consumption.

Энергетическая эффективность является одной из важнейших технических характеристик подвижного состава железнодорожного транспорта. Для оценки показателей энергоэффективности сотрудниками кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет пулей сообщения» предложено оценивать характеристики расхода топлива специального подвижного состава специального подвижного состава (СПС) путем контроля текущих режимов работы энергетических установок. Эффектообразующим фактором перспектив внедрения данного проекта является контроль фактического времени работы энергетической установки на конкретном нагрузочном режиме и оценка текущих и суммарных значений реального расхода топлива. Предлагаемая система контроля в зимних сезонах 2020/2021 и 2021/2022 гг. была апробирована на снегоуборочных машинах типа СМ-2 [1-6]. Актуальность данных мероприятий

подтверждается необходимость учета стохастического характера расхода топлива дизель-генераторными установками подвижного состава (ДГУ) [7- 9].

Первоначальные эксплуатационные испытания подтвердили работоспособность системы, но, в то же время, показали возникновение сложности фиксации режимов холостого хода и рабочей нагрузки. На железнодорожном транспорте для оценки эффективности работы специального подвижного состава принято использование трех базовых режимов нагрузки: холостой ход, транспортный режим, рабочий режим. С целью возможности дискретизации данных режимов было принято решение о включении в состав системы датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Данный параметр необходим для повышения точности определения значений расхода топлива, так как двигатель дизель-генераторной установки путевой машины при любой смене режима работы настраивается на определенную, заданную заводом-изготовителем, постоянную частоту вращения коленчатого вала. Данной частоте вращения соответствует определенный удельный эффективный расход топлива, определяемый относительной величиной массового расхода топлива по отношению к текущим значениям эффективной мощности.

На рис. 1 представлен пример массива данных, полученных в процессе работы системы контроля энергетической эффективности подвижного состава. В данной таблице столбцы содержат следующие данные: A – период измерений; B – дата измерений; C – время по Гринвичу; D, E – долгота и широта, для отслеживания машины; F, G, H – сила тока каждой из трех фаз генератора ДГУ; O – частота вращения коленчатого вала ДВС ДГУ. Оставшиеся столбцы представляют собой неиспользуемые резервные порты, позволяющие в перспективе расширить объем контролируемых параметров.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
12920	101	140322	5524000	54995272	82850912	4.78	4.82	4.9	0.57	0.59	0.63	0	-8.16	324.18	1486.06
12921	102	140322	5524000	54995272	82850912	4.77	4.84	4.94	0.57	0.6	0.65	0	-8.16	324.18	1486.06
12922	103	140322	5524000	54995272	82850912	4.77	4.85	4.9	0.57	0.61	0.64	0	-8.16	324.18	1486.06
12923	104	140322	5524000	54995272	82850912	4.79	4.84	4.91	0.57	0.6	0.64	0	-8.16	324.18	1486.06
12924	108	140322	5524800	54995272	82850912	75.21	44.4	51.03	37.76	21.49	24.99	0	-8.16	324.34	1486.73
12925	108	140322	5524800	54995272	82850912	184.65	155.5	96.71	95.54	80.15	49.11	0	-8.16	324.34	1486.73
12926	109	140322	5524800	54995272	82850912	69.92	71.06	64.95	34.96	35.56	32.34	0	-8.16	324.34	1486.73
12927	110	140322	5524800	54995272	82850912	77.1	69.92	67.29	38.76	34.96	33.57	0	-8.16	324.34	1486.73

Рис. 1 – Пример массива данных системы контроля энергетической эффективности

Каждый из режимов работы ДГУ в данном массиве данных представлен определенной комбинацией значений силы тока на каждой из трех фаз генератора и показаний датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания энергетической установки. Примеры отображения данных комбинаций

представлены на рис. 2, 3, 4.

36444	9089	140322	3385200	55037156	82891456	4.86	4.85	4.92	0.61	0.61	0.64	0	-8.16	209.48	1019.13
36445	9090	140322	3385200	55037156	82891456	4.83	4.86	4.95	0.6	0.61	0.66	0	-8.16	209.48	1019.13
36446	9091	140322	3385200	55037156	82891456	4.89	4.89	4.96	0.63	0.63	0.67	0	-8.16	209.48	1019.13
36447	9092	140322	3385200	55037156	82891456	4.86	4.89	4.89	0.61	0.63	0.63	0	-8.16	209.48	1019.13
36448	9093	140322	3385200	55037156	82891456	4.85	4.86	4.99	0.61	0.61	0.68	0	-8.16	209.48	1019.13

Рис. 2 – Пример отображения холостого хода ДГУ СМ-2

81395	16188	80322	6010100	55038976	82891936	4.86	4.92	4.98	0.61	0.65	0.68	0	-8.16	313.95	1444.44
81396	16189	80322	6010100	55038976	82891936	4.86	4.93	4.95	0.61	0.65	0.66	0	-8.16	313.95	1444.44
81397	16190	80322	6010100	55038976	82891936	4.86	4.96	4.96	0.61	0.66	0.66	0	-8.16	313.95	1444.44
81398	16190	80322	6010100	55038976	82891936	4.82	4.96	4.97	0.59	0.66	0.67	0	-8.16	313.95	1444.44
81399	16191	80322	6010100	55038976	82891936	4.87	4.92	4.98	0.62	0.65	0.68	0	-8.16	313.95	1444.44
81400	16195	80322	6010100	55038976	82891936	4.87	4.92	4.97	0.62	0.64	0.67	0	-8.16	312.91	1440.19

Рис. 3 – Пример отображения транспортного режима машины СМ-2

81437	16245	80322	6015800	55037608	82893608	222.22	112.81	99.15	115.38	57.61	50.4	0	-8.16	314.77	1447.79
81438	16246	80322	6015800	55037608	82893608	60.07	57.64	57.19	29.76	28.48	28.24	0	-8.16	314.77	1447.79
81439	16247	80322	6015800	55037608	82893608	214.39	122.5	80.05	111.24	62.73	40.31	0	-8.16	314.77	1447.79
81440	16247	80322	6015800	55037608	82893608	77.41	72.07	69.73	38.92	36.1	34.86	0	-8.16	314.77	1447.79
81441	16248	80322	6015800	55037608	82893608	81.88	73.14	71.99	41.28	36.66	36.06	0	-8.16	314.77	1447.79
81442	16252	80322	6015800	55037608	82893608	71.79	70.75	69.96	35.95	35.4	34.98	0	-8.16	313.12	1441.04
81443	16253	80322	6015800	55037608	82893608	72.36	70.44	70.45	36.25	35.24	35.24	0	-8.16	313.12	1441.04

Рис. 4 – Пример отображения рабочего режима ДГУ СМ-2

Из приведенных иллюстраций очевидно, что режимы работы дизель-генераторной установки снегоуборочной машины СМ-2 характеризуются следующими отличиями. Для холостого хода характерно, что сумма значений силы тока внешней нагрузки ДГУ СМ-2 не превышает 105 А, а значение частоты вращения коленчатого вала не превышает 1200 об/мин. В транспортном режиме машины СМ-2 сумма значений силы тока также не превышает 105 А, однако значения частоты вращения коленчатого вала больше. чем 1200 об/мин и стремятся к величине 1500 об/мин. В рабочем режиме дизель-генераторной установки сумма значений силы тока уже значительно превышает 105 А, при этом частота вращения коленчатого вала приобретает постоянное рабочее значение, равное 1500 об/мин.

Испытания в реальных условиях эксплуатации, проведенные на снегоуборочной машине СМ-2 № 1810 в период с 17.02.2022 г. по 17.03.2022 г., позволили сравнить результативность предлагаемого метода контроля расхода топлива с общепринятыми принципами контроля. В качестве объекта сравнения выступили данные экипажа машины о списании израсходованного топлива.

Согласно представленным отчетам, расход топлива за аналогичный период составил 2260 кг.

Следует отметить, что из-за особенностей первоначального варианта системы энергетической эффективности в начале испытаний отсутствовали данные о расходе топлива на малых оборотах коленчатого вала, поскольку в программе расчета не учитывались значения нижнего предела расхода топлива. Принятые к реализации технические мероприятия позволили устранить данный недостаток. Для этого была проведена корректировка заложенной в микропроцессор нагрузочной характеристики дизель-генераторной установки путем определения расхода топлива двигателя внутреннего сгорания на холостом ходу с использованием мерного цилиндра, оснащённого датчиком уровня топлива, и электронных весов, при этом топливо из обратной магистрали топливной системы также направлялось в мерный цилиндр. После корректировки значений расхода топлива в режиме холостого хода машины был произведён перерасчет показаний расхода топлива за месяц. В итоге, по данным системы контроля энергетической эффективности, расход топлива с учетом реального сочетания нагрузочных режимов за контрольный период составил 2162,45 кг, то есть, предполагаемая величина экономии топлива при внедрении данной системы составляет 4,3 %.

Согласно анализу полученных массивов данных, имеет место следующее соотношение рабочего режима и холостого хода энергетической установки машины СМ–2, представленное на рис. 5.

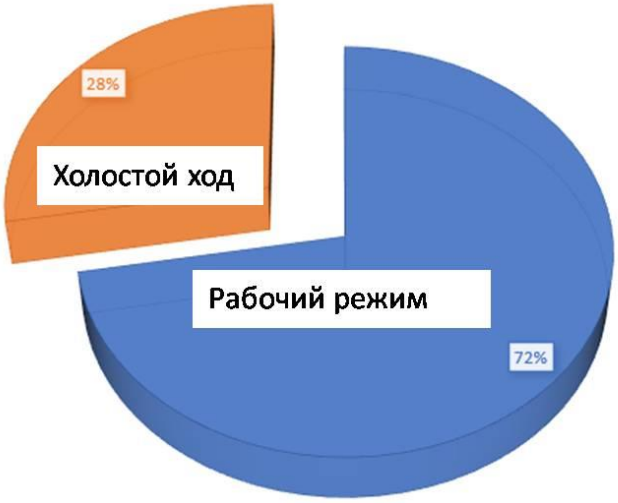


Рис. 5 – Соотношение режима холостого хода и рабочего режима машины СМ–2

Таким образом, использование данных, полученных путем теоретических и экспериментальных исследований, и установка датчиков контроля частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания позволили обеспечить совершенствование системы контроля энергетической эффективности подвижного состава. В результате реализации предложенных технических решений по контролю нагрузочных режимов работы энергетических установок обеспечивается выполнение двух обязательных

условий эффективности дистанционного технического мониторинга: учет стохастического характера изменения в условиях реальной эксплуатации текущих значений расхода топлива и минимизация затрат на приобретение и использование средств контроля [10].

Библиографический список

Зинченко, Е. С. Определение эффективного расхода топлива / Е. С. Зинченко, А. С. Алехин // Интеллектуальный потенциал Сибири: мат. регион. студ. конференции. – Ч. 2. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – С. 144–145.

. Устройство для измерения расхода топлива дизель-генераторной уста-новки: пат. 196235 Рос. Федерация: МПК G01M 15/00, G01M 15/044 / А. С. Але-хин, В. И. Кочергин, Е. С. Зинченко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО СГУПС. – № 2019132435; заявл. 14.10.19; опубл. 21.02.20, Бюл. № 6.

. Определение эффективного расхода топлива энергетических установок специального подвижного состава/ Е. С. Зинченко, В. И. Кочергин // Наука и молодежь СГУПС в третьем тысячелетии.– Вып. 10. – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2021. – С. 153–157.

. Зинченко, Е. С. Оценка энергетической эффективности подвижного состава / Е. С. Зинченко, В. И. Кочергин // Наука и молодежь СГУПС в третьем тысячелетии. – Вып. 11. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2021. – С. 31–37.

. Кочергин В. И. Аналитическая система контроля расхода топлива подвижного состава / В. И. Кочергин, А. С. Алехин, Е. С. Зинченко // Политранспортные системы: мат. XI междунар. науч.-техн. конф. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2020. – С. 450–453.

. Зинченко, Е. С. Контроль расхода топлива дизель-генераторных установок / Е. С. Зинченко, В. И. Кочергин // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: мат. XIII междунар. науч.-техн. конф. – Новосибирск: НГАУ, Инж. ин-т, 2021. – С. 189–192.

. Марков, В. А. Метод повышения топливной экономичности дизель-генераторной установки тепловоза в условиях эксплуатации / В. А. Марков, А. Ю. Епишин, С. С. Лобода // Известия высших учебных заведений машиностроения. – 2017. – № 1(682). – С. 55–62.

. Косарев, А. В. Динамика эволюции неравновесных диссипативных сред / А. В. Косарев. – Оренбург: ИПК «Газпромпечать» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2001. – 144 с.

. Федянов, Е. А. Межцикловая неидентичность рабочего процесса в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным зажиганием / Е. А. Федянов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2014. – 111 с.

10. Kochergin, V. Optimization of Technical Monitoring Processes / V. Kochergin, D. Plotnikov, A. Ilinykh, S. Glushkov // TransSiberia 2020 Conference. Transportation Research Procedia 54 (2021). – P. 166–172.

УДК 621.793.71
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_34

К ВОПРОСУ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРУПНОГОБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

В. Ю. Игнатюгин, С. С. Емельянов
Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: в статье рассмотрены способы восстановления применимые к крупногабаритным деталям карьерных самосвалов. Обоснован выбор способов восстановления. Даны рекомендации по выбору способа восстановления и инструмента для механической обработки.

Ключевые слова: восстановление деталей, плазменная наплавка, твёрдосплавный инструмент, напыление, переходная ступица.

ON THE ISSUE OF RESTORATION OF LARGE-SIZED PARTS OF QUARRY DUMP TRUCKS

V. Yu. Ignatyugin, S. S. Emelyanov
Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: the article discusses recovery methods applicable to large-sized parts of quarry dump trucks. The choice of recovery methods is justified. Recommendations are given on the choice of a recovery method and a tool for machining.

Key words: restoration of parts, plasma surfacing, carbide tool, spraying, transition hub.

Эксплуатация горнодобывающей техники в тяжёлых условиях работы сопровождается постоянным изнашиванием деталей, их взаимным перемещением, трением, нагревом, химическими преобразованиями, изменением в процессе работы физических величин и конструктивных параметров. Это постепенно приводит состояние машины к предельному, и она требует капитального ремонта [1, 2, 3].

В структуре себестоимости капитального ремонта машин 60-70 % затрат приходится на стоимость запасных частей. В то же время себестоимость восстановления большинства деталей не превышает 25-40 % цены новой детали. В настоящее время существуют прогрессивные технологии восстановления, которые помимо восстановления, упрочняют её поверхность, значительно повышая износостойкость. Восстановление изношенных деталей является одним из основных путей экономии материально-сырьевых и энергетических ресурсов, решения экологических проблем, так как затраты энергии, металлов и других материалов в 25-30 раз меньше, чем затраты при изготовлении новых деталей. Особую актуальность вопрос восстановления деталей получает в условиях работы предприятий при действии экономических санкций и отсутствии поставок запасных частей от зарубежных производителей техники.

Изнашивание – это необратимый процесс изменения размеров деталей во время эксплуатации, при этом, как правило, изменяется форма, размеры и состояние их рабочих поверхностей. В зависимости от условий работы интенсивность изнашивания деталей различается многократно.

Восстановление изношенных деталей позволяет значительно снизить затраты на ремонт техники и поэтому является приоритетным вопросом в развитии системы технического обслуживания и ремонта машин.

К основным способам восстановления изношенных деталей относятся [4, 5]:

– наплавка;
– напыление;
– установка дополнительной ремонтной детали;
– восстановление пластическим деформированием детали;
– гальванические покрытия.

Рассмотрим особенности выбора способа восстановления для крупногабаритных, сложных по конструкции деталей на примере переходной ступицы карьерных самосвалов.

Выбор способа восстановления детали во многом зависит от её размеров, материала, требований к состоянию поверхности после восстановления, допустимых термических деформаций и пр.

Кроме того, при выборе способа восстановления необходимо прежде всего исходить из того, что посадка сопряжения должна быть восстановлена или путём восстановления номинального размера поверхности, или изменением этого размера до ремонтного [5].

К восстановленным деталям типа «валы» предъявляют следующие требования: точность геометрической формы и размеров цапф, соосность шеек, перпендикулярность фланцев, точное взаимное расположение других элементов (отверстий, пазов, эксцентриков, кривошипов и т.п.), высокая износостойкость рабочих поверхностей, высокая усталостная прочность, жёсткость [6].

Для деталей типа ступица, переходная ступица заводы изготовители не предусматривают ремонтных размеров, поэтому способ восстановления расточкой детали под ремонтный размер заведомо не может быть применён.

Восстановление гальваническим способом, также является нерациональным вследствие малой площади восстанавливаемой поверхности по сравнению с габаритами деталей. Способ восстановления путём установки дополнительных ремонтных деталей не может использоваться вследствие специфики геометрических характеристик детали. Восстановление пластическим деформированием невозможно так как восстанавливаемая деталь не имеет достаточного запаса металла на неответственных участках для перемещения его к изношенной поверхности [7, 8].

Из выше сказанного можно сделать вывод, что переходная ступица может быть восстановлена только методами наплавки и напыления [9].

Известно, что при восстановлении посадочных поверхностей деталей типа «валы» наиболее распространены такие способы восстановления как: механизированная наплавка под слоем флюса, механизированная наплавка в среде защитных газов, вибродуговая наплавка, плазменная наплавка и газопламенное напыление. Также в настоящее время развивается способ лазерной наплавки, но не имеет широкого распространения из-за дороговизны

оборудования и не полноты исследований процессов и свойств получаемых покрытий.

Выбор оптимального способа восстановления произведён по технико-экономическому критерию. В качестве расчётной величины используется $k_э$, которая отражает сущность технико-экономического критерия [5]:

$$k_э = \frac{C_{вij}}{k_д} \to \min, \quad (1.1)$$

где $C_{вij}$ – затраты на восстановление i-ой поверхности детали j-м способом (себестоимость восстановления), руб.; $k_д$ – коэффициент долговечности восстановленной поверхности детали.

Упрощённый вариант расчёта $k_э$ может быть выполнен по методике, которая предусматривает введение в расчет значения удельной себестоимости восстановления $C_{уij}$, руб./см^2 взамен $C_{вij}$, руб. [5]:

$$k_э = \frac{C_{уij} S_i}{k_д} \to \min, \quad (1.2)$$

где $C_{уij}$ – удельная себестоимость восстановления, руб./см^2; S_i – площадь восстанавливаемой поверхности, см^2.

Значения коэффициента долговечности $k_д$ и удельная стоимость восстановления $C_{уij}$ для рассматриваемых способов приведены в таблице по данным [5].

Коэффициент долговечности выражается в отношении долговечности восстановленной детали к долговечности новой детали, что выражает работоспособность восстанавливаемых деталей.

Для расчёта технико-экономического критерия принято S_i = 1 см^2.

По формуле (1.2) для газопламенного напыления рассчитан технико-экономический критерий:

$$k_э^{гн} = \frac{1{,}2 \cdot 1}{0{,}8} = 1{,}5.$$

По формуле (1.2) получено:

– для плазменной наплавки – $k_э^{пн} = 1{,}4$;

– для вибродуговой наплавки – $k_э^{вдн} = 1{,}18$;

– для наплавки в среде защитных газов – $k_э^{нзг} = 0{,}89$.

– для наплавки под слоем флюса – $k_э^{нсф} = 1{,}52$.

По технико-экономическому критерию наиболее оптимальным способом восстановления является наплавка в среде защитных газов. Но следует обратить внимание и на другие особенности различных способов наплавки. В свою очередь плазменная наплавка несмотря на дороговизну оборудования имеет ряд преимуществ, что позволяет получить высокое качество поверхности с высокой износостойкостью, кроме того устраняется необходимость в термической обработке по причине малого тепловложения в деталь, благодаря чему упрощается технологический процесс. Кроме того, данный способ восстановления имеет небольшую зону термического влияния, что способствует уменьшению риска образования внутренних дефектов в структуре материала детали.

Таблица – Коэффициенты долговечности и удельная стоимость восстановления

Способ восстановления	Коэффициент долговечности $k_д$	Удельная себестоимость восстановления C_{yij}, руб./см^2
Газопламенное напыление	0,8	1,2
Плазменная наплавка	1	1,4
Вибродуговая наплавка	0,85	1
Наплавка в среде защитных газов	0,9	0,8
Наплавка под слоем флюса	0,92	1,4

Особенностью механической обработки восстановленных поверхностей является необходимость применения инструмента с режущей поверхностью, выполненной из твёрдосплавного материала. Поскольку после плазменной наплавки получают поверхности с высокой твёрдостью.

Для черновой обработки покрытий высокой твёрдости целесообразно применять ПТСМ киборит, для чистовой и отделочной обработки – инструменты из с режущей частью из композитов: 01 (эльбор-Р), 02 (белбор), 05 и 09 (ПТНБ), 10 (гексанит-Р), 10Д (двухслойные кристаллы) и др. [10].

По данным [11] для точения упрочнённых металлов и сплавов рекомендуется использовать резцы из твёрдого сплава ВК6М.

Исходя из анализа свойств существующего твёрдосплавного инструмента при черновой и получистовой обработке рекомендуется использовать резцы из твёрдого сплава ВК6М, а для чистовой и тонкой обработки резцы с режущей частью из композита-10Д. Использование данного инструмента позволит обеспечить необходимые качество и точность поверхности.

Вывод

Разработка и внедрение технологического процесса восстановления с применением плазменной наплавки позволит получать качественные и надёжные покрытия, что важно при эксплуатации деталей в такой тяжело нагруженной технике как карьерные самосвалы. Также данная технология позволяет полностью автоматизировать данный процесс, что является немаловажным преимуществом. Кроме того, внедрение рассмотренного процесса восстановления откроет доступ для разработки на ремонтных и эксплуатирующих предприятиях технологий восстановления многих других ответственных деталей, например, таких как коленчатые и распределительные валы.

Библиографический список

1. Бабич А.В., Манаков А.Л., Щелоков С.В. Ремонт машин. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2012. – 238 с.

2. Щербаков Ю.В., Кашфуллин А.М. Современные способы восстановления и упрочнения деталей. Изд-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образования «Пермский гос. аграрно-технолог. ун-т. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2018. – 191 с.

3. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление/Пер. с яп. В.Н. Попова: Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

4. Разработка технологического процесса восстановления детали / сост. А.Л. Манаков, А.В. Бабич, А.Д. Абрамов, С.А. Коларж, А.А. Игумнов; Сиб. гос. ун-т путей сообщения. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2021. – 69 с.

5. Технология ремонта машин / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский и др.; Под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2007. – 488 с.

6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.

7. Проектирование технологических процессов восстановления деталей транспортных и технологических машин / В.В. Быков, И.Г. Голубев, В.В. Каменский и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУЛ, 2004. – 64с.

8. Ильиных А.С., Галай М.С., Щелоков С.В. Технология машиностроения и производство маши: – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2015 – 50 с.

9. Плазменная наплавка металлов. А.Е. Вайнерман, М.Х. Шорохов, В.Д. Веселков, В.С. Новосадов. Изд-во «Машиностроение», 1969. – 192 с.

10. Ильиных А.С., Галай М.С. Нормирование операций механической обработки – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2017 – 40 с.

11. Выбор марки твёрдого сплава // МеханикИнфо: Офиц. сайт. Режим доступа: http://www.mechanicinfo.ru/ (дата обращения 16.06.2022)

УДК 62-272.22
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_39

ОПТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ПРУЖИНЫ ИЗ РЕССОРНОГО КОМПЛЕКТА ВАГОНА

А. С. Чистяков, Т. О. Румянцева, М. Д. Швецова
Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы оптические способы определения геометрических размеров пружины из рессорного комплекта вагонов. Автоматизация процесса измерения геометрических параметров пружин позволит снизить затраты трудовых ресурсов, а значит повысить эффективность железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, рессорный комплект вагона, рессорное подвешивание, пружина, оптические методы измерения, измерение деталей.

OPTICAL METHODS FOR DETERMINING THE GEOMETRIC PARAMETERS OF A RAILROAD CAR SPRING

A. S. Chistyakov, T. O. Rumyantseva, M. D. Shvetsova
Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract. The article considers and analyzes optical methods for determining the geometric parameters of a railroad car spring. Automation of the geometric parameters measuring process of springs will reduce labor costs, and thus increase the efficiency of railway transport.

Keywords: railway transport, car spring kit car, spring suspension, spring, optical measurement methods, detail measurement.

В процессе эксплуатации железнодорожного транспорта особое внимание уделяется вопросу безопасности [1, 2]. Предъявляются высокие требования к надежности и исправности инфраструктуры и подвижного состава [3]. Одним из наиболее сложных узлов в конструкции вагонов является рессорный комплект, который предназначен для уменьшения динамического воздействия вагона на путь [4].

Преимущественно измерение параметров пружин (высота, диаметр и т.д.) рессорного комплекта производится вручную. Поэтому процесс измерения является долгим и трудоемким. Важно отметить, что при сборке комплекта должен соблюдаться ряд необходимых требований [5, 6]. Например, пружины в один рессорный комплект допускается устанавливать с разницей по высоте одного типа не более 4 мм. Таким образом, автоматизация процесса измерения параметров пружин обеспечит выполнение требований при минимальных затратах трудовых ресурсов [7, 8].

Первым шагом на пути к автоматическим измерениям является разработка оптических способов определения геометрических размеров пружины [9, 10, 11]. Параметрами пружины, которые подлежат определению, являются: высота H, внешний диаметр D и толщина прутка R.

Рассмотрим первый предлагаемый оптический способ определения геометрических размеров пружины (см. рис. 1). Схема способа в проекциях на плоскости представлена на рисунке 1.

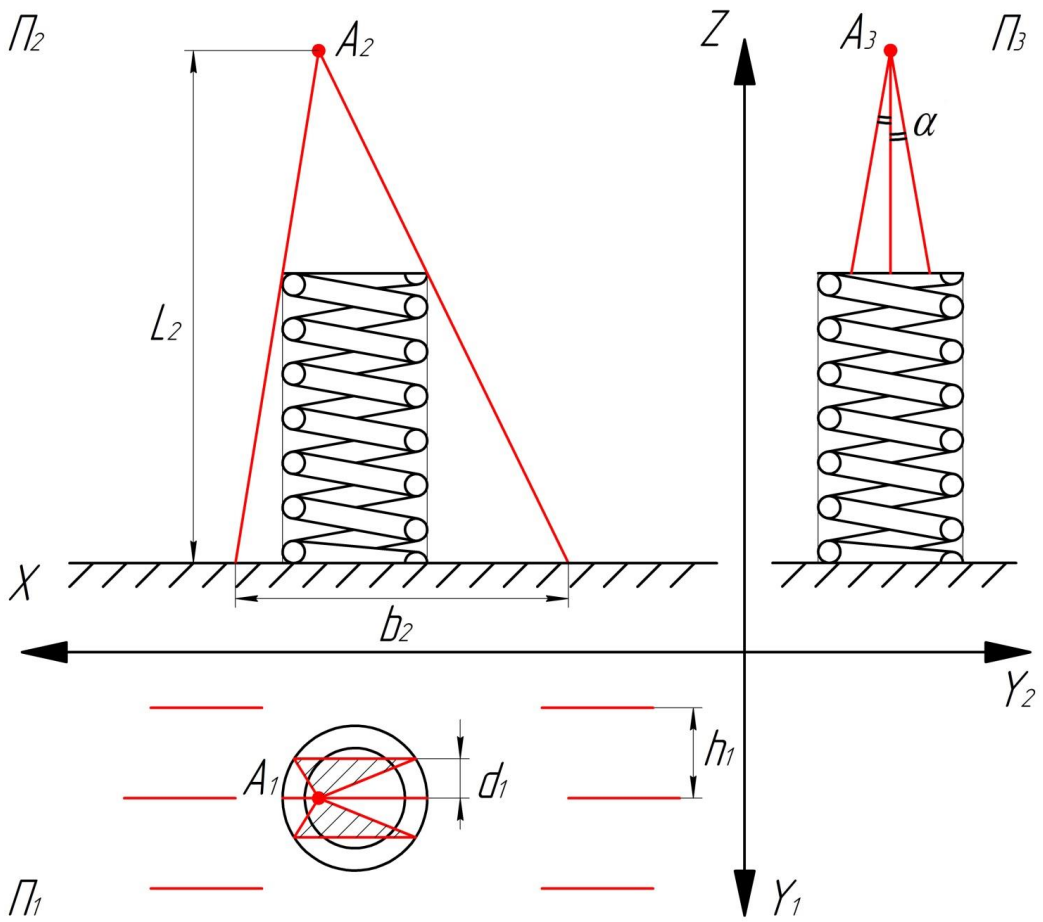


Рис. 1 – Схема первого рассматриваемого оптического способа определения геометрических размеров пружины

Излучатель расположен в точке А. Освещение представляет собой три лазерные плоскости. Центральная лазерная плоскость строго вертикальна, а две боковые лазерные плоскости отклонены от центральной плоскости на одинаковый угол α. Отрезок d_1 является кратчайшим горизонтальным расстоянием, на которое отдалена боковая лазерная плоскость от центральной плоскости на уровне H (высота пружины) от рабочей поверхности. В свою очередь, отрезок h_1 представляет собой кратчайшее горизонтальное расстояние, на которое отдалена боковая лазерная плоскость от центральной плоскости на уровне рабочей поверхности. Способ основан на сравнении отрезков d_1 и h_1. Таким образом, высоту пружины можно определить по формуле:

$$H = L_2 - \frac{d_1}{tg(\alpha)},$$

где L_2 – высота размещения источника освещения над рабочей поверхностью.

Примем высоту L_2 равной 400 мм, а угол α – 10°. Тогда при величине расстояния d_1 равном 26,98 мм высота пружины составит 247 мм, а при d_1 равном 25,39 мм высота пружины примет значение 256 мм. Можно видеть, что на разность высот пружины в 9 мм приходится 1,59 мм разности измеряемого расстояния d_1. Иными словами, для определения высоты пружины с точностью до одной десятой мм необходимо измерять расстояние d_1 с точность до двух сотых мм. При этом следует учитывать, что луч лазера может попасть на скругленную часть поверхности пружины, что приведет к увеличению погрешности измерений.

При рассмотрении треугольника с вершиной A_2 и основанием b_2 можно получить формулу для определения диаметра пружины:

$$D = b_2 \cdot \left(1 - \frac{H}{L_2}\right),$$

где b_2 – длина тени пружины.

К недостаткам первого рассматриваемого способа определения геометрических размеров пружины следует относить:

- сложность формирования излучения в виде трех расходящихся лазерных плоскостей;
- высокая точность измерений (до двух сотых мм);
- необходимость совмещения оси пружины с центральной лазерной плоскостью для точного определения внешнего диаметра пружины.

Рассмотрим второй предлагаемый оптический способ определения геометрических размеров пружины (см. рис. 2).

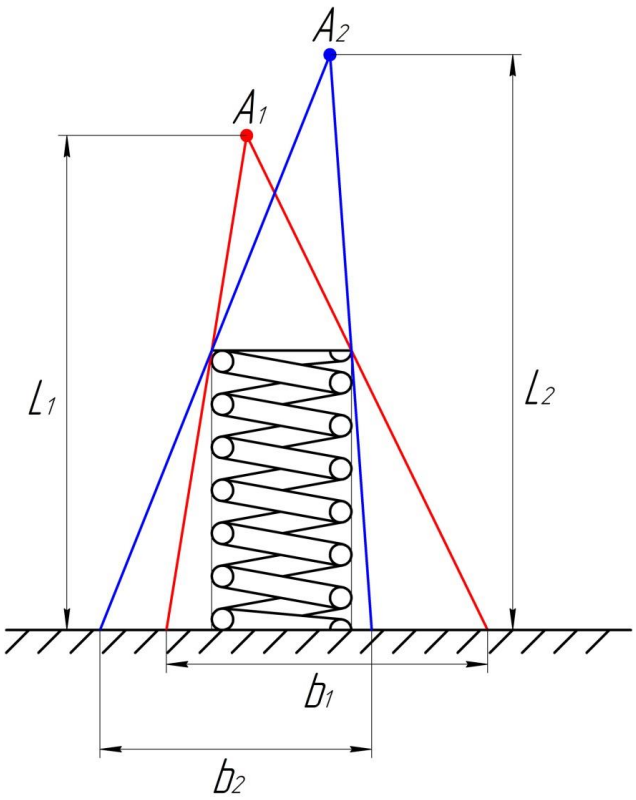


Рис. 2 – Схема второго рассматриваемого оптического способа определения геометрических размеров пружины

Излучатели расположены в точках A_1 и A_2. Каждый излучатель создает освещение в виде одной лазерной плоскости, каждая из которых принадлежит одной и той же вертикальной геометрической плоскости. Лазерные плоскости могут быть разных цветов в случае одновременного включения излучателей и одного цвета в случае их поочередного включения. Расстояния L_1 и L_2 – высоты размещения источников освещения над рабочей поверхностью, а расстояния b_1 и b_2 – длины тени пружины от каждого источника освещения соответственно.

В результате математических преобразований были получены формулы для определения высоты и внешнего диаметра пружины:

$$H = \frac{L_1 - k \cdot L_2}{1 - k},$$

$$D = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot (L_1 - L_2)}{L_1 \cdot b_2 - L_2 \cdot b_1},$$

$$k = \frac{L_1 \cdot b_2}{L_2 \cdot b_1},$$

где k – коэффициент, вводимый для удобства представления формул.

Рассмотрим третий предлагаемый оптический способ определения геометрических размеров пружины (см. рис. 3).

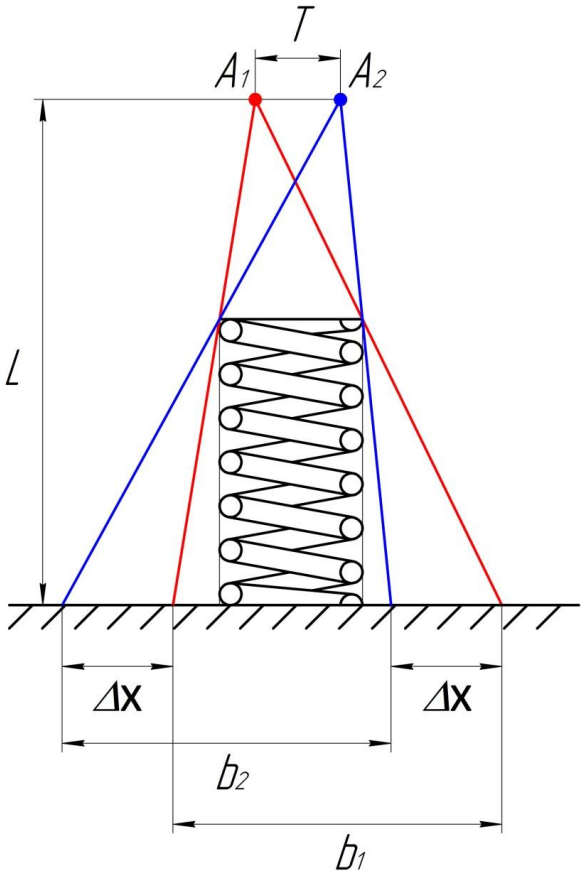


Рис. 3 – Схема третьего рассматриваемого оптического способа определения геометрических размеров пружины

Излучатели расположены в точках A_1 и A_2, отстоящих на расстоянии T друг от друга вдоль горизонтальной прямой. Каждый излучатель создает освещение в виде одной лазерной плоскости, каждая из которых принадлежит одной и той же вертикальной геометрической плоскости. Лазерные плоскости могут быть разных цветов в случае одновременного включения излучателей и одного цвета в случае их поочередного включения. Расстояние L – высота размещения источников освещения над рабочей поверхностью, а расстояния b_1 и b_2 – длины тени пружины от каждого источника освещения соответственно. Длина отрезка Δx представляет собой модуль разности координат крайних точек падающих теней от пружины. Важно заметить, что отрезки Δx слева и справа от пружины равны. Следовательно, равны отрезки b_1 и b_2.

В результате математических преобразований были получены формулы для определения высоты и внешнего диаметра пружины:

$$H = L \cdot \left(\frac{\Delta x}{\Delta x + T}\right),$$

$$D = b_1 \cdot \left(\frac{T}{\Delta x + T}\right).$$

Достоинством второго и третьего рассматриваемого оптического способа определения геометрических размеров пружины является возможность использования обычного освещения взамен лазерного. В таком случае следует измерять наибольшую длину тени пружины от каждого излучателя.

К недостаткам следует относить необходимость совмещения оси пружины с вертикальной геометрической плоскостью, к которой принадлежат источники освещения.

Толщину прутка R необходимо определять только для внутренних пружин рессорного комплекта. Широкое распространение получили внутренние пружины двух типов, наружный диаметр которых составляет 124 мм и 132 мм. Толщины прутков указанных типов пружин соответственно равны 19 мм и 21 мм. Следовательно, задача по установлению толщины прутка пружины сводится к определению ее диаметра. Важным логическим условием при этом является невозможность получения большой тени от пружины малого внешнего диаметра.

По итогам проведенного исследования были получены следующие результаты:

1) Предложено и рассмотрено три оптических способа определения геометрических размеров пружины.
2) Определены расстояния, подлежащие измерению.
3) Выведены и представлены формулы для расчета высоты и внешнего диаметра пружины на основании измеряемых расстояний.
4) Описаны основные достоинства и недостатки рассмотренных оптических способов.
5) Предложен способ измерения толщины прутка пружины.

Библиографический список

1. Храменок, М. А. Проблемы безопасности эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта / М. А. Храменок // Безопасность регионов - основа устойчивого развития. – 2012. – Т. 1-2. – С. 186-189.

2. Маслова, Е. В. Обеспечение безопасности технических средств железнодорожного транспорта на основе внедрения системы менеджмента безопасности / Е. В. Маслова, А. В. Маслов // XXVII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2015) : Труды конференции, Москва, 02–04 декабря 2015 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2015. – С. 88-91.

3. Развитие методов анализа техногенных опасностей и рисков для объектов железнодорожного транспорта / Н. А. Махутов, М. М. Гаденин, А. М. Соколов, Е. Ю. Титов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2014. – № 6. – С. 3-12.

4. Мещерин, Ю. В. Работа пружин рессорного подвешивания тележек грузовых вагонов / Ю. В. Мещерин, Э. М. Сорочкин // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 9. – С. 49-50.

5. Ивановцева, Н. В. Применение оптических методов контроля на базе Павлодарского ВРД / Н. В. Ивановцева, К. И. М. Жумасанов // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика : Материалы XLI Международной научно-практической конференции, Алматы, Казахстан, 03–04 апреля 2017 года / Под редакцией Б.М. Ибраева. – Алматы, Казахстан: Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017. – С. 154-158.

6. Машкова, Д. В. Автоматизированный стенд для испытаний и измерения параметров пружин пассажирских вагонов Стрела-М1 / Д. В. Машкова // Организация производства, экономика и менеджмент : Труды III студенческой научно-практической конференции, Воронеж, 24 июня 2022 года. – Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ростовский государственный университет путей сообщения" в г. Воронеж, 2022. – С. 77-80.

7. Патент № 2349394 C1 Российская Федерация, МПК B07C 5/34. Способ измерения и сортировки пружин рессорного комплекта грузовых вагонов : № 2007140197/11 : заявл. 30.10.2007 : опубл. 20.03.2009 / А. В. Муртазин, В. В. Трошков, П. И. Москалев ; заявитель ЗАО Научно-проектный центр "ТОРМОЗ".

8. Патент на полезную модель № 137612 U1 Российская Федерация, МПК G01M 17/04. Устройство для измерения высоты пружины тележки грузового

вагона : № 2013145582/11 : заявл. 11.10.2013 : опубл. 20.02.2014 / Н. А. Гвоздев ; заявитель Открытое акционерное общество "Российские железные дороги".

9. Венедиктов, А. З. Измерение геометрических параметров сложных цилиндрических объектов / А. З. Венедиктов, О. В. Пальчик // Датчики и системы. – 2005. – № 1. – С. 24-28.

10. Демкин, В. Н. Лазерные методы и средства контроля геометрических размеров изделий / В. Н. Демкин, В. А. Степанов // Измерительная техника. – 2008. – № 2. – С. 32-34.

11. Лексутов, И. С. Экспериментальное моделирование процесса бесконтактного контроля размеров деталей ходовой части грузового вагона / И. С. Лексутов // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2018. – № 1(30). – С. 55-58.

УДК 625.122
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_46

О ДОПУСТИМЫХ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ ПУТИ

Г. К. Щепотин
Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация. Основные принципы расчета по предельным состояниям используются при проектировании противодеформационных конструкций подшпального состояния пути. Вместе с тем, существующую градацию допустимых остаточных деформаций пути, нельзя считать окончательной, т.к. она не затрагивает всего многообразия эксплуатационных и климатических условий дорог восточного полигона. В процессе эксплуатации нормируются только величины относительных деформаций пути. Абсолютная остаточная деформация пути при этом не рассматривается. Однако именно она дает оценку степени изменения проектного положения пути в процессе эксплуатации. При этом становится важным вопрос о нахождение соотношений между накапливаемыми остаточными деформациями пути и допусками содержания рельсовой колеи по уровню согласно существующим нормам. Для нахождения данного соотношения разработана математическая модель статистического моделирования неравномерного накопления остаточных деформаций пути в процессе эксплуатации. Полученные результаты расчетов позволяют осуществлять технологию содержания пути в проектном положении.

Ключевые слова: допустимые деформации пути, проектное положение пути, отклонения по уровню, статистическое моделирование деформаций.

ABOUT PERMISSIBLE RESIDUAL DEFORMATIONS OF THE TRACK

G. K. Shchepotin
Siberian State University of Railway Communications, 191 Dusi Kovalchuk Str., Novosibirsk, 630049, Russia

Annotation. The basic principles of limit state calculation are used in the design of anti-deformation structures of the sub-ramp state of the track. At the same time, the existing gradation of permissible residual deformations of the track cannot be considered final, since it does not affect the entire variety of operational and climatic conditions of the roads of the eastern polygon. During operation, only the relative deformations of the track are normalized. The absolute residual deformation of the track is not considered. However, it provides an assessment of the degree of change in the design position of the track during operation. At the same time, it becomes important to find the relationship between the accumulated residual deformations of the track and the tolerances of the maintenance of the rail track at the level according to existing standards. To find this ratio, a mathematical model of statistical modeling of uneven accumulation of residual deformations of the track during operation is developed. The obtained calculation results allow implementing the technology of maintaining the track in the design position.

Keywords: permissible deformations of the track, design position of the track, level deviations, statistical modeling of deformations.

В настоящее время детерминистический подход к расчету конструкций при их проектировании состоит из двух этапов. Целью расчета является решение вопроса о том, сможет ли конструкция достаточно надежно служить в течение установленного срока.

На первом этапе вычисляются напряжения и деформации в конструкциях под воздействием внешних нагрузок. Решению данной задачи служат методы строительной механики, теории упругости, теории пластичности и т.п.

Второй этап расчета состоит в сопоставлении вычисленных напряжений и деформаций с некоторыми допустимыми значениями. На этом этапе довольно простыми методами выбирается достаточно долговечная и экономичная конструкция. Для реализации данного выбора необходимо знать допускаемые напряжения или деформации [1, 2].

Изложенные принципы расчета по предельным состояниям в полной мере используются, например, при проектировании противопучинных конструкций подшпального состояния железнодорожного пути [3-5].

Вместе с тем, принятые в настоящее время значения предельных остаточных деформаций пути, нельзя считать окончательными, т.к. они не затрагивают всего многообразия эксплуатационных и климатических условий дорог Сибири [6-8].

Требуются дополнительные исследования с учетом масштабов модернизации дорог восточного полигона, суровости климатических условий региона, случайного характера процессов взаимодействия пути и подвижного состава [9-12].

Таким, сугубо случайным, является процесс неравномерного накопления остаточных деформаций в продольном и поперечном профиле пути. В процессе эксплуатации нормируются только величины относительных деформаций пути, а именно, перекосы и уровень. Абсолютная остаточная деформация пути при этом не рассматривается. Однако именно она дает оценку степени изменения проектного положения пути в процессе эксплуатации [13-15].

При этом становится важным вопрос о нахождение соотношений между накапливаемыми остаточными деформациями пути и допусками содержания рельсовой колеи по уровню согласно новым нормативным документам [16].

Для нахождения данного соотношения была построена следующая математическая модель процесса неравномерного накопления остаточных деформаций пути.

С ростом пропущенного тоннажа в результате неравномерного накопления остаточных деформаций увеличиваются неисправности пути по уровню. На рисунке изображена реализация монотонно возрастающего случайного процесса *H(T)* – величины перекоса в некотором сечение пути.

Можно наблюдать, что в момент времени T_L случайный процесс выйдет за упреждающий допуск *L*. Если в этот период не произвести упреждающей регулировки параметра, то в момент T_D произойдет выход параметра за отказовый допуск *D*.

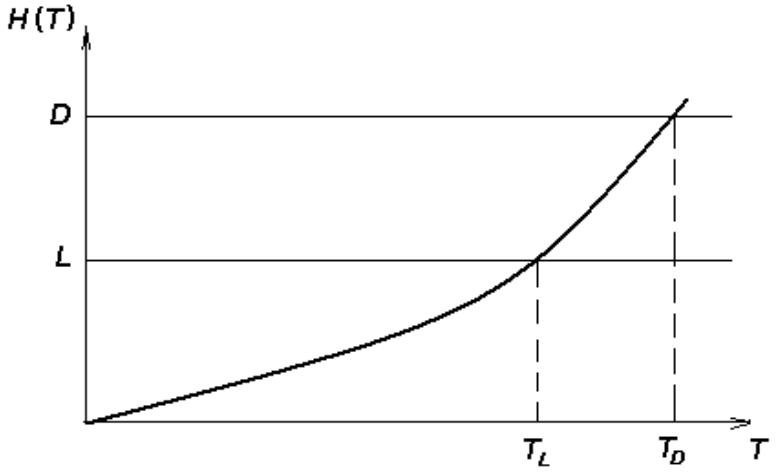


Рис. Реализация монотонно возрастающего случайного процесса *H(T)*

Поскольку процесс *H(T)* является случайным, то существует вероятность P_D выхода параметра за отказовый допуск после наработки T_D. Вероятность P_D зависит не только от величины проходящего по пути груза, но и от организации технического обслуживания пути. Если успеть ликвидировать неисправность рельсовой колеи в момент ее нахождения между допусками *L* и *D*, то отказа не будет.

Допуски для оценки состояния рельсовой колеи при текущем содержании пути регламентируются нормативными документами [16].

В качестве отклонений пути от норм содержания по уровню принимаются значения приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Степени неисправностей пути и их размеры
(установленная скорость пассажирских/грузовых поездов
61–120/61–90 км/ч)

Степень неисправности	I	II	III	IY
Величина перекоса , мм	от 9 до 10	до 14	до 20	более 20
Величина отклонения уровня, мм	от 9 до 12	до 20	до 25	более 25

К I степени относятся отступления, находящиеся в пределах норм устройства рельсовой колеи. Они не требуют выполнения работ по их устранению.

Ко II степени относятся отступления, которые не требуют уменьшения установленной скорости движения поездов, но оказывающие влияние на плавность движения подвижного состава и интенсивность расстройства пути.

При большом количестве таких отступлений на километре планируется сплошная выправка пути, при малом – выборочная выправка пути в местах отступлений.

К III степени относятся отступления значительно ухудшающие плавность движения поездов и повышающие интенсивность накопления остаточных

деформаций пути. Данные отступления устраняются в первоочередном порядке в течение двух-трех дней после обнаружения.

К IV степени относятся отступления, вызывающие увеличение сил взаимодействия пути и подвижного состава до таких значений, которые могут привести к сходу его с рельсов. При обнаружении отступлений IV степени необходимо уменьшить скорость движения поездов.

В рассматриваемой задаче за упреждающий допуск L следует принять I степень неисправностей, а за отказовый допуск D – IV.

Неисправности рельсовой колеи должны устраняться путейцами в плановом порядке, не допуская появления отступлений больших степеней, при которых уменьшается скорость движения поездов.

Однако на практике это не всегда выполнимо из-за известных трудностей, которые испытывают путейцы при содержании железнодорожного пути (задача с ограничениями на ресурсы) [17-19].

На время ликвидации отказов пути машинистам поездов выдают предупреждения об ограничении скорости движения.

Длительные предупреждения выдаются при появлении большого объема работ по техническому обслуживанию пути $Q_{\text{то}}$, который превышает в текущий момент времени возможности путейцев по их своевременному устранению $[Q]$

$$Q_{\text{то}} > [Q]. \tag{1}$$

Предупреждения существенно снижают скорость транспортного потока и препятствуют выполнению графика движения поездов [20, 21].

Для нахождения соотношений между накапливаемыми остаточными деформациями пути и допусками содержания пути по уровню была построена следующая математическая модель процесса накопления отклонений пути по уровню при эксплуатации. В этой модели нарастание во времени отклонений по уровню в i-м сечение пути задается в виде

$$d_{i,\,j+1} = d_{ij} + \Delta d_{ij}, \tag{2}$$

где $d_{i,\,j+1}$ – отклонение пути по уровню в i-м сечение в (j+1)-й момент контроля, мм; d_{ij} – отклонение пути по уровню в i-м сечение в j-й момент контроля, мм.

Нарастание во времени перекосов в i-м сечение пути задается в виде

$$H_{i,\,j+1} = H_{ij} + \Delta H_{ij}, \tag{3}$$

где $H_{i,\,j+1}$ – перекос пути в i-м сечение в (j+1)-й момент контроля, мм; $H_{i,\,j}$ – перекос пути в i-м сечение в j-й момент контроля, мм.

Величины Δd_{ij} и ΔH_{ij} представляют собой приращение отклонения пути по уровню и перекоса пути, которые произойдут за период ΔT (ΔT – наработка между очередными проверками состояния рельсовой колеи путеизмерительным вагоном в Мт).

Остаточная деформация $\Delta E_{i,\,j}$ в i-м сечении пути за период ΔT составит

$$\Delta E_{i,j} = \dot{E}_{ij} \Delta T, \quad (4)$$

где $\dot{E}_{ij}$ – интенсивность накопления остаточных деформаций в i-м сечении пути (мм/Мт).

Превышение одной рельсовой нити над другой за ΔT вычисляется по формуле

$$\Delta d_{ij} = E_{\text{м}ij} - E_{\text{п}ij}, \quad (5)$$

где $E_{\text{м}ij}$ – остаточная деформация по междупутной рельсовой нити, мм;

$E_{\text{п}ij}$ – остаточная деформация по полевой рельсовой нити, мм.

При этом величина отклонения пути по уровню в i-м сечение в (j+1)-й момент контроля определится по формуле (2), а перекос – по (3).

Остаточную деформацию $E_{i,j+1}$ в i-ом сечение пути в (j+1)-й момент контроля можно определить по формуле

$$E_{i,j+1} = E_{ij} + \Delta E_{ij}, \quad (6)$$

где ΔE_{ij} – остаточная деформация за наработку ΔT , мм.

При определении параметров распределения отклонений пути по уровню d и перекосов пути H на очередной момент контроля использовался метод статистического моделирования [22, 23].

Расчеты выполнялись в следующей последовательности. Вследствие подчинения интенсивности накопления остаточных деформаций пути $\dot{E}$ нормальному закону, розыгрыш $\dot{E}_{\text{м}ij}$ с математическим ожиданием $\overline{\dot{E}}$ и среднеквадратичным отклонением S_e осуществлялся следующим образом

$$\dot{E}_{\text{м}ij} = S_e \sqrt{2} \left(\sum_{k=1}^{6} R_k - 3 \right) + \overline{\dot{E}} \quad (7)$$

Для получения псевдослучайных чисел R_k использовался стандартный генератор случайных чисел

$$R_{k+1} = (R_k \lambda) \bmod 1 \quad (8)$$

Величина интенсивности накопления остаточных деформаций по полевой рельсовой нити $\dot{E}_{\text{п}ij}$ находилась по величине $\dot{E}_{\text{м}ij}$ с использованием процедуры розыгрыша двух зависимых случайных величин с учетом коэффициента корреляции $r_{\text{п}}$ (коэффициент корреляции в поперечном профиле). Аналогично определялась и величина $\dot{E}_{\text{м},i+1,j}$, но с учетом уже значений $r_{\text{пр}}$ (коэффициент корреляции в продольном профиле) [24].

Нахождение интенсивности накопления остаточных деформаций $E_{i,j+1}$ в (j+1)-й момент времени осуществлялось по известной величине E_{ij} в j-й момент времени с использованием процедуры розыгрыша двух зависимых случайных величин с учетом значений нормированной корреляционной

функции, полученной по данным натурных наблюдений на опытных участках [24].

Средняя величина остаточных деформаций $\overline{E}$ определялась с учетом эксплуатационных факторов при рельсах Р65 по формуле

$$\overline{E} = (0{,}033 + 0{,}00055 Q_{\text{ср}})\Gamma, \qquad (9)$$

где $Q_{\text{ср}}$ – средняя осевая нагрузка, кН; Г – грузонапряженность, Мт.

Событие, заключающееся в том, что состояние пути по уровню достигло указанного допуска, определялось по следующему алгоритму.

Полученные расчетом значения d_{ij} и H_{ij} в момент очередной проверки сравнивались с допусками L и D.

При $H_{ij} < L$ и $d_{ij} < L$ задавался новый (j+1) шаг равный ΔT и расчет повторялся. Новые значения $d_{i,j+1}$ и $H_{i,j+1}$ опять сравнивались с допусками.

В случае $L < H_{ij} < D$ или $L < d_{ij} < D$ принималось, что рассматриваемый случайный процесс достиг допуска. При этом фиксировалась остаточная деформация пути, при которой это событие осуществилось.

После этого прекращалось изменение параметра и приступали к расчету очередной реализации с момента $T = 0$.

В результате моделирования на ЭВМ получился ряд случайных значений E, при которых выполнялись условия $L < H_{ij} < D$ или $L < d_{ij} < D$. По известным зависимостям определялись характеристики нормального закона распределения величины E: среднее значение $\overline{E}$ и среднее квадратичное отклонение S_e.

Упрощенная последовательность выполнения программы на ЭВМ при решении данной задачи:

1) генерация случайных чисел R_k, равномерно распределенных в интервале (0,1);

2) использование этих чисел для получения $\dot{E}_{ij}$;

3) вычисление Δd_{ij} и ΔH_{ij}, а также d_{ij} и H_{ij};

4) проверка условий $H_{ij} < L$ и $d_{ij} < L$; если условие выполнено, то прибавление единицы к переменному индексу j и переход к п.1, если нет, то переход к п.5;

5) проверка условий $L < H_{ij} < D$ и $L < d_{ij} < D$; если одно из условий выполнено, то фиксируется накопленная остаточная деформация E_i и расчет начинается с T=0;

6) вычисление характеристик $\overline{E}$ и S_e.

7) печать результатов расчета.

В качестве отклонений пути от норм содержания по уровню L и D принимались значения приведенные в табл. 1.

Результаты расчетов остаточных деформаций пути на разработанной математической модели при различных значениях грузонапряженности Г и средних осевых нагрузках $Q_{\text{ср}}$ приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты расчетов остаточных деформаций пути

Грузо-напряженность, Мт	Средняя осевая нагрузка, т	Остаточные деформации при различных степенях неисправностей, мм		
		I	II	III
50	12,0	23,0	32,6	43,3
	17,0	24,0	36,2	46,3
	21,0	22,2	32,7	45,3
80	12,0	25,4	32,6	48,0
	17,0	23,7	34,4	47,3
	21,0	22,0	38,0	50,2
110	12,0	22,0	34,5	43,6
	17,0	23,0	37,7	45,9
	21,0	21,5	32,3	45,8
Среднее, мм		23,0	34,6	46,2

По результатам расчетов можно предложить следующие величины остаточных деформаций для оценки отклонений состояния пути от проектного положения в продольном профиле (табл. 3).

Таблица 3.

Величины остаточные деформации для оценки состояния пути в продольном профиле

Остаточная деформация в профиле, мм	Остаточные деформации при различных степенях неисправностей, мм			
	I	II	III	IY
	до 23	до 35	до 46	более 46

Выполненные исследования позволяют осуществлять контроль за нахождением пути в проектном положении с использованием геодезических методов относительно неподвижных реперов, устанавливаемых в характерных точках (НПК, КК и т.п.).

В настоящее время актуальность содержания бесстыкового пути в проектном положении в суровых климатических условиях возрастает в связи с модернизацией восточного полигона и ростом грузонапряженности и осевых нагрузок, при которых увеличивается интенсивность накопления остаточных деформаций пути.

Библиографический список

1. Бесстыковой путь / В.Г. Альбрехт, Н.П. Виногоров, Н.Б. Зверев и др.; Под ред. В.Г. Альбрехта, А.Я. Когана. М.: Транспорт, 2000. 408 с.

2. *Рувинский В.И.* Оптимальные конструкции земляного полотна. М.: Транспорт, 1982. 166 с.

3. Технические указания по устранению пучин и просадок железнодорожного пути. ЦПИ-24: Утв.29.05.97. М., 1997. 73 с.

4. *Щепотин Г.К.* Обеспечение морозоустойчивости подшпального основания пути при модернизации восточного полигона // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2021. № 3 (4). С. 94–101.

5. *Щепотин Г.К., Крутасов Б.В.* Повышение несущей способности дорожных конструкций в условиях Сибири / Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т.21. № 1(67). С. 127–137.

6. *Бредюк Г.П., Палькин Ю.С.* Проектирование земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Новосибирск: Изд-во НИИЖТа, 1986. 87 с.

7. *Akimov S., Kosenko S., Bogdanovich S*. Stability of the supporting subgrade on the tracks with heavy train movement // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. № 1116. С. 228–236.

8. *Косенко С.А., Акимов С.С.* Причины отказов элементов железнодорожного пути на полигоне Западно-Сибирской железной дороги // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 3 (42). С. 26-34.

9. *Щепотин Г.К.* Допустимое морозное пучение подшпального основания с учетом весеннего оттаивания пути для модернизации восточного полигона // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 1 (60). С. 21−28.

10. *Севастьянов А.А., Кочетков А.С., Стрелков Д.А.* Анализ воздействия поездов на железнодорожный путь в условиях Среднесибирского хода // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 4 (55). С. 26–33.

11. *Щепотин Г.К.* Усиление подшпального основания в условиях Сибири // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 7. С. 22–24.

12. *Грищенко В.А.* Расчеты, устройство и содержание бесстыкового пути. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2009. 212 с.

13. *Титов В.П.* Усиление земляного полотна длительно эксплуатируемых железных дорог. М.: Стройиздат, 1980. 272 с.

14. Справочник по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог / Под ред. А.Ф. Подпалого, М.А. Чернышева, В.П. Титова. М.: Транспорт, 1978. 767 с.

15. *Щепотин Г.К.* Управление техническим состоянием пути при модернизации восточного полигона // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 3. С. 35–37.

16. Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. Утв. ОАО «РЖД» № 436/р 28.02.2020. М. 2020. 115 с.

17. *Лысюк В.С.* Причины и механизм схода колес с рельсов. Проблема износа колес и рельсов. М.: Транспорт, 1997. 188 с.

18. *Щепотин Г.К.* Влияние грузонапряженности и осевых нагрузок на долговечность рельсов в регионах с холодным климатом // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. №1 (56). С. 12–19.

19. Путь и безопасность движения поездов / В.И. Болотин, В.А. Лаптев, В.С. Лысюк, В.Я.Шульга; Под ред. В.Я. Шульги. М.: Транспорт, 1994. 199 с.

20. *Правдин Н.В., Дыканюк М.Л., Негрей В.Я.* Прогнозирование грузовых потоков. М.: Транспорт, 1987. 248 с.

21. *Левин Д.Ю.* Оптимизация потоков поездов. М.:Транспорт, 1988. 176с.

22. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.

23. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972. 552 с.

24. *Щепотин Г.К.* Усиление подшпального основания бесстыкового пути. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2008. 150 с.

УДК 21474
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_55

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ

А.С. Пикалов[1], В.К. Милорадович[2], А.С. Ильиных[2]

1. АО «Калужский завод «Ремпутьмаш», Подкопаевский переулок, 4, г. Москва, 109028, Россия
2. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация. В статье представлены технические указания по шлифованию рельсов, применяемые в ОАО «РЖД». Рассмотрен существующий парк рельсошлифовальных поездов с отражением проблем их эксплуатации. Приведены технические и технологические характеристики основного применяемого рельсошлифовального поезда РШП-48К на участках пути ОАО «РЖД».

В статье рассмотрены перспективы развития рельсошлифования на основе нового рельсошлифовального поезда разработки акционерного общества «Калужский завод «Ремпутьмаш»» с указанием технических и технологических параметров, закладываемых в новую конструкцию машины и технологический процесс. Приведено сравнение существующего и разрабатываемого рельсошлифовальных поездов по техническим и технологическим параметрам. По результатам сравнительного анализа определен эффект от внедрения нового рельсошлифовального поезда для нужд ОАО «РЖД».

Ключевые слова: железнодорожный путь, шлифование рельсов, технологический процесс, организация производства, рельсошлифовальный поезд.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF RAILS GRINDING TECHNOLOGY

A.S. Pikalov[1], V.K. Miloradovich[2], A.S. Ilinykh[2]

1. Stock Company «Kaluga Plant «Remputmash», Podkopaevsky lane, 4, Moscow, 109028, Russia
2. Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: The article presents technical instructions for grinding rails which are used in Russian Railways. There is existing fleet of rail-grinding trains with description of the operation problems. There are the technical and technological characteristics of the important train RSHP-48k which is used in the special sections of the Russian Railways company. The article presents and reviews new rail grinding train which is developed in the joint stock Company Kaluga Plant, Resputmash, with the indication of the technical and technological characteristics which are in the new design. There also is the comparison of the existing rail-grinding train with the rail-grinding train which is developed according to technical and technological characteristics. There is effect from introduction of new rail-grinding train for using of Russian Railways company.

Key words: railway, rail-grinding, technological process, organization of production, rail-grinding train.

Введение

В соответствии с техническими указаниями по шлифованию рельсов, утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 22 февраля 2011 г. № 388р (с учетом изменений № 1399/р от 25.05.2022) шлифование рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов предназначена для удаления обезуглероженного слоя и заводских геометрических неровностей на

поверхности катания новых рельсов, отдаления периода образования в головке дефектов контактно-усталостного характера, восстановления, формирования и поддержания поперечного и продольного профилей головок рельсов, предупреждения развития и устранения волнообразного износа, седловин, пробоксовок, механических повреждений, расплющивания, смятия, пластических деформаций головки рельса, неровностей в сварных стыках, отслоения и выкрашивания поверхности головки рельса, устранения шероховатости на рабочих поверхностях для снижения шума от движения поездов и повышения плавности хода подвижного состава.

Шлифование рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов производится следующих видов:

- Первоначальное шлифование – предусматривает удаление обезуглероженного слоя у новых рельсов и допустимых в соответствии с нормативными документами на производство рельсов дефектов поверхности катания и новых рельсовых элементов стрелочных переводов;
- Профилактическое шлифование – предусматривает регулярное снятие поврежденного слоя металла с поверхностными трещинами, позволяет предотвратить их ускоренное развитие, обеспечивает сохранение заданного профиля рельса, назначается при наличии на поверхности катания рельсов глубины неровностей выше установленных значений;
- Профильное шлифование – при котором головка рельса и рельсовых элементов стрелочных переводов в прямых участках пути шлифуются по поверхности катания и выкружкам с устранением волнообразного износа, неровностей на поверхности катания и для восстановления поперечного профиля головки рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов, приближенного к профилю нового рельса, и формирования требуемого поперечного профиля головки рельсов в кривых участках пути для улучшения условий контактирования колеса и рельса, вписывания и устойчивости движения экипажа в кривых; назначается при наличии на поверхности катания рельсов глубины неровностей, а также для формирования (восстановления) очертания поперечного профиля головки рельса.

Периодичность проведения операций шлифования рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов, планируется в зависимости от классификации железнодорожного пути. В соответствии с нормативно-технической документацией устанавливаются нормы периодичности обработки рельсов, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Периодичность проведения шлифования рельсов

Группа железнодорожного пути	**Периодичность проведения шлифовок рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов, млн. т брутто**
В	40

С, П	40 – 60
О, I, II	85
III, IV, V	120

С учетом среднесетевых условий эксплуатации (v=60 км/ч, осевая нагрузка $P_{ос}$=20 тс/ось) периодичность шлифовки рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов составит 85 млн. т брутто [1, с. 322].

По состоянию на 2022 год длина железнодорожных путей главного хода (1, 2 и 3 классов) составляет 107 824 км пути. Грузонапряженность находиться в диапазоне от 4,24 млн. т. брутто/год до 88,01 млн. т. брутто/год в зависимости от характеристик дирекции инфраструктуры и в среднем составляет 38,72 млн. т. брутто/год. Учитывая тот факт, что профилактическое шлифование рельсов рекомендуется производить через каждые 85 млн. т брутто пропущенного груза то требующий указанного вида ремонта на объектах текущего содержания составляет 198 439 км прохода в год.

Существующая ситуация с эксплуатируемым парком применяемых рельсошлифовальных поездов

Шлифование рельсов является неотъемлемой частью работ по текущему содержанию пути. Компания ООО «РСП-М» оказывает услуги ОАО «РЖД» по шлифованию рельсов в пути парком рельсошлифовальных поездов типа РШП-48, РШП-48К, RR-48, URR-112. Основной тип рельсошлифовального поезда применяемого для шлифования рельсов является РШП-48К (рис. 1) [1, с. 323].

Рисунок 1 – Рельсошлифовальный поезд РШП-48К

Существующий парк рельсошлифовальных поездов будет выбывать из эксплуатации по причине назначенного срока службы. Количество оставшихся в эксплуатации рельсошлифовальных поездов приведено на рисунке 2.

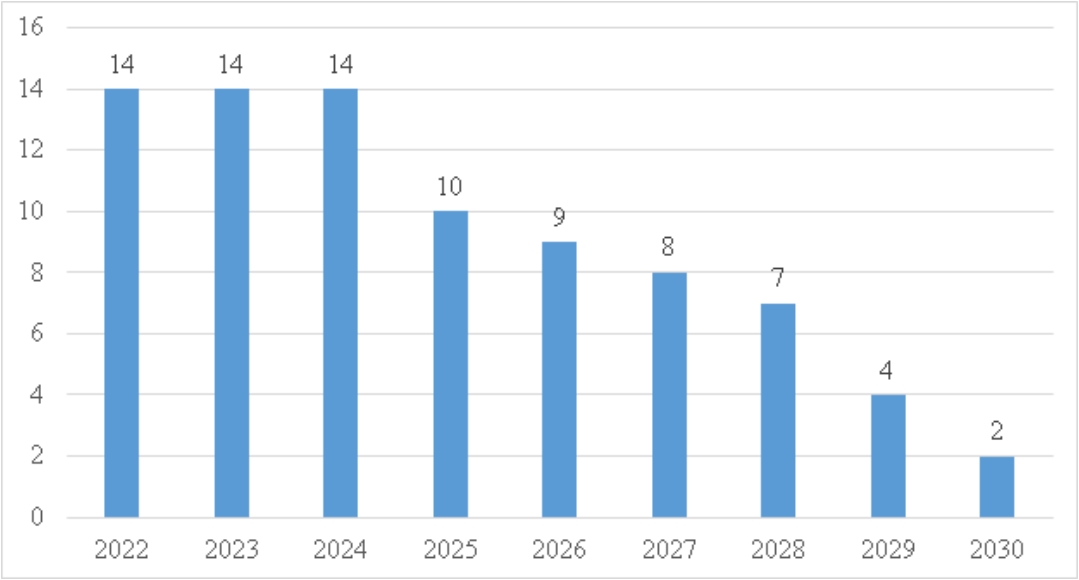


Рисунок 2 – Количество оставшихся в эксплуатации рельсошлифовальных поездов

По состоянию на 2030 год останется в эксплуатации 2 рельсошлифовальных поезда, при этом ежегодный объем по рельсошлифованию составляет до 31 тыс. километров проходов. Так выполненный объём работ в 2021 г. составлял 27 тыс. километров проходов (таблица 2).

Таблица 2 – Объем работ по шлифованию рельсов в 2021 г. рельсошлифовальными поездами

№ п/п	**Наименование железной дороги**	**Объем работ, км проходов**
1	Октябрьская	3 756,4
2	Московская	3 165,9
3	Горьковская	500,0
4	Северная	1 796,8
5	Северо-Кавказская	1 496,0
6	Юго - Восточная	1 308,8
7	Приволжская	1 296,0
8	Куйбышевская	1 378,0
9	Свердловская	2 162,6
10	Южно-Уральская	1 547,4
11	Западно-Сибирская	1 519,0
12	Красноярская	1 564,1
13	Восточно-Сибирская	2607,8
14	Забайкальская	1 792,0
15	ДВОСТ	1 268,7
	ИТОГО	**27 159,5**

Исходя из выше изложенного, годовую потребность по шлифованию рельсов в 2025 году выполнить существующим парком рельсошлифовальных поездов будет невозможно.

Существующие технические и технологические характеристики рельсошлифовального поезда РШП-48К

Существующая производительность рельсошлифовальных поездов, которая определяется скоростью их работы, составляет 4-8 километров в час. Технические характеристики рельсошлифовального поезда РШП-48К представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики рельсошлифовального поезда РШП-48К

№ п/п	Наименование	Значение
1	Тип поезда	Самоходная путевая машина
2	Максимальная толщина снимаемого слоя с головки рельсов за один проход при твердости 480 НВ и скорости 5 км/ч, мм	0,2
3	Число шлифовальных головок	48
4	Тип абразивного материала	ПП250х150х75
5	Скорость движения, км/ч:	-
6	- в составе грузового поезда или самоходом	80
7	- в режиме шлифования	4-8
8	Длина поезда, м	78,58
9	Мощность, кВт, тип энергетических установок:	-
10	- КТТА50-G2 (длительная)	1298
11	- 6СТА8.3-G (длительная)	67
12	Параметры тока	3х440 В, 60 Гц
13	Масса поезда, т	311

Применяемые на сегодняшний день технологии шлифования рельсов и рельсошлифовальные поезда отечественного производства имеют возможность регулирования режимов обработки только скоростью перемещения рельсошлифовального поезда и то в очень узком диапазоне, что соответственно ограничивает область их применения. Так же проектирование технологий шлифования рельсов в применяемых на сегодняшний день рельсошлифовальных поездах осуществляется на основе базы ремонтных профилей, из которой выбирается наиболее подходящий. База ремонтных профилей очень ограничена и, как правило, выбранный профиль не является оптимальным, в связи с чем происходит излишнее удаление металла, что отрицательно сказывается на общем ресурсе рельса. В существующих рельсошлифовальных поездах оценку качества проведенных работ можно выполнить только после полного завершения шлифования по результатам проведенных измерений [2, с. 556].

Существующие технологии шлифования рельсов предполагают проектирование операций по шлифованию рельсов непосредственно на перегоне по результатам измерений, что отнимает значительный временной

ресурс технологического окна. Средняя производительность рельсошлифовальных поездов на участках ремонта за 2021 г. составляет 15 километров проходов за одно технологическое окно продолжительностью 6 часов.

При работе рельсошлифовального поезда съем металла составляет до 0,2 мм за один проход. При этом, для выполнения работ по рельсошлифованию требуется закрытие целых перегонов для движения поездов (организация технологических «окон»), низкая производительность приводит к значительным издержкам, связанным с ограничением пропускной способности участков пути, задержкой движения и снижением скорости перевозок.

На основании графика производства работ в технологическое окно продолжительностью 6 часов полезное время составляет 200 минут (3,25 часа), а выполненный объем составляет до 20 километров проходов за одно технологическое окно. На основании анализа фактической работы рельсошлифовальных поездов РШП-48К в 2021 г. средняя выработка в окно варьировалась от 14,2 до 17,9 километров проходов за одно технологическое «окно».

Предложения по усовершенствованию парка рельсошлифовальных поездов

В соответствии со стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р, предусматривается необходимость в перспективе до 2030 года разработать и внедрить инновационные технологий ремонтов и обслуживания железнодорожного пути, для сокращения времени ремонтов, стоимости обслуживания и поддержания в установленных нормах железнодорожного пути, а также создание условий для расширения притока частного капитала в конкурентные сегменты рынка. Во исполнение указанной стратегии необходимо создать новый рельсошлифовальный поезд, решающий две основные задачи:

- Повышение скорости производства работ;
- Сокращение времени подготовительно-заключительных работ в окно, за счет исключения измерительных операций.

Обоснование оптимальных режимов скоростного шлифования рельсов

Влияние окружной скорости шлифовального круга на результат шлифования известно уже давно. Установлено, что с увеличением окружной скорости шлифовального круга силы резания уменьшаются, шероховатость поверхности улучшается, стойкость шлифовального круга с ростом окружной скорости увеличивается, а износ одновременно снижается. Производительность съема металла с увеличением окружной скорости круга может быть значительно повышена.

Акционерное общество «Калужский завод «Ремпутьмаш» реализует проект создания нового рельсошлифовального поезда с новым рабочим оборудованием для шлифования рельсов. Отличительной чертой нового оборудования является использование новых электродвигателей с частотой вращения абразивного инструмента до 7000 об/мин и новых абразивных кругов. Так же в поезде планируется реализовать новое программное обеспечение, позволяющее исключить операцию измерения до начала производства работ, за счет получения фактических данных о состоянии пути из Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ). Анализ сравнения технических характеристик поездов РШП – 48К и нового рельсошлифовального поезда представлены в таблице 4 [3, с. 32].

Таблица 4 – Сравнительные характеристики рельсошлифовальных поездов

№ п/п	Наименование	Значение		Эффект
		РШП-48К	Новый РШП	
1	Вписываемость в габарит в транспортном положении по ГОСТ 9238	1-Т	1-Т	Работа в габарите 1-Т и 02-ВМ
2	Максимальная толщина снимаемого слоя с головки рельсов за один проход, мм	0,2	0,3	Сокращение количества проходов
3	Скорость движения, км/ч:	-	-	-
4	- в режиме шлифования	4-8	1-15	Увеличение производительности на 88%
5	- в транспортном режиме	80	100	Увеличение транспортной скорости на 25%
6	Назначенный срок службы, лет	25	30	Увеличение срока службы на 20%

С учетом реализуемой концепции организации работ по шлифованию рельсов с применением нового рельсошлифовального поезда технологический график производства работ имеет полезное время использование на участке ремонта пути 4 часа (или 240 минут) при стандартном технологическом «окне» продолжительностью 6 часов, что в свою очередь обеспечивает производительность 60 километров проходов за одно технологическое окно [5, с. 89].

Как итог анализа работы двух рельсошлифовальных поездов, сформирована таблица сравнения технической и технологической эффективности нового рельсошлифовального поезда разрабатываемого Акционерным обществом «Калужский завод «Ремпутьмаш», которая представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнительные характеристики эффективности рельсошлифовальных поездов

№ п/п	Наименование	РШП-48К	РШП 2.0	Эффект
1	Длина участка производства работ, км	5	15	Увеличение участка производства работ в 3 раза
2	Количество выполненных километров проходов, км проходов	20	60	Увеличение количества выполненных километров проходов в 3 раза
3	Общая производительность (с учетом сопутствующих операций), км. проходов в час	3,3	10	Увеличение общей производительности в 3 раза

Вывод

Применение нового самоходного рельсошлифовального поезда РШП 2.0 позволит увеличить количество отшлифованных километров в стандартное технологическое «окно» продолжительностью 6 часов и сократить время, не приносящее ценность.

Возможная реализуемая выработка новым рельсошлифовальным поездом на участке ремонта в стандартное технологическое «окно» составит 60 километров проходов отшлифованного пути.

Немаловажным фактором от применения нового поезда является возможность обновления базы ЕК АСУИ в части фактического состояния пути после проведения работ по шлифованию рельсов.

При этом в разработке рельсошлифовального поезда необходимо использовать комплектующие и программное обеспечение Российских производителей, так как в существующем рельсошлифовальном поезде РШП - 48К использовано программное обеспечение и часть комплектующих иностранных производителей, которые не подлежат ремонт или замены ввиду их отсутствия и морального устаревания.

Решение вышеуказанных задач позволяет создать новый рельсошлифовальный поезд 2.0, который отвечает требованием по увеличению производительности на участках ремонта, импортозамещению, внедрению цифровых систем и использование при работе общей базы данных ОАО «РЖД».

Библиографический список

1. Ильиных А.С., Бондарев Э.С. Становление, текущее состояние и перспективы развития рельсошлифования в России / Материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Красноярск, 2021. С. 322-326.

2. Ильиных А.С., Матафонов А.В. Влияние особенностей конструкции рабочего оборудования рельсошлифовальных поездов на процесс обработки рельсов / Материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия - ЕС "Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке". 2015. С. 567-571.

3. Сидоров Э.С., Ильиных А.С., Матафонов А.В. Роль надежности технологического процесса в обеспечении качества шлифования рельсов в

условиях железнодорожного пути / Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 4 (99). С. 32-37.

4. Матафонов А.В., Пыко А.Н., Ильиных А.С. Технологическое обеспечение качества поверхности рельсов при шлифовании в условиях железнодорожного пути / Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2015. Т. 15. № 1. С. 80-92.

5. Ильиных А.С Научно-методические основы высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути / Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. т. 1. № 1 (69). с. 89-95.

УДК 622.236.234
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_64

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСКАВАТОРА-ПОГРУЗЧИКА С УЧЕТОМ ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Литенко П.А. [1], Маслов Н.А.[1,2]
1. ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук 191, г. Новосибирск, 630049, Россия.
2. ФГБУН Институт горного дела им. Н.А. Чинакала, ул. Красный проспект 54, г. Новосибирск, 630091, Россия.

В работе рассмотрена физика процесса взаимодействия экскаваторного ковша с повышенными силовыми возможностями при различных режимах работы с породой, разработаны алгоритмы расчета производительности, энергоемкости и других параметров для анализа режимов работы и разработки рекомендаций по повышению энергетической эффективности экскаватора-погрузчика.

Ключевые слова: ковш активного действия, активация зубьев, гидравлический активатор

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF APPLICATION OF BACKHOE LOADER WITH CONSIDERING ITS ENERGY EFFICIENCY

Litenko P.A. [1], Maslov N.A.[1,2]
1. Siberian Transport University, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia
2. Mining Institute named after N.A. Chinakal, 54 Krasny prospect str., Novosibirsk, 630091, Russia

The paper considers the physics of the interaction process of an excavator bucket with increased power capabilities under various modes of operation with the rock, developed algorithms for calculating productivity, energy intensity and other parameters for the analysis of operating modes and developing recommendations to improve the energy efficiency of the backhoe loader.

Keywords: active bucket, teeth activation, hydraulic activator

Целью работы является разработка методики расчета энергетической эффективности экскаватора-погрузчика с активным ковшом.

Задачи работы: установить закономерности процесса разрушения породы типовым ковшом обратной лопаты экскаватора-погрузчика и ковшом активного действия (далее – КАД) при различных режимах работы разработать алгоритмы расчета производительности, энергоемкости и других параметров для анализа режимов работы и разработки рекомендации по повышению энергетической эффективности экскаватора-погрузчика.

Традиционные одноковшовые гидравлические экскаваторы с жесткой подвеской рабочего оборудования (РО) широко используются на предприятиях горнорудной промышленности, при выемочно-погрузочных работах, на строительных площадках, для рытья котлованов, траншей и т.д., обеспечивают эффективную выемку пород до IV категории. Применение этих машин обосновано явными преимуществами объемного гидропривода перед механической трансмиссией – простотой кинематических связей между источником и потребителем энергии, возможностью преобразования

вращательного движения первичного двигателя в поступательное движение штока гидроцилиндра, малой металлоемкостью привода по сравнению с канатными экскаваторами эквивалентной мощности.

В то же время использовать экскаватор на строительных площадках с узкими подъездными путями, на приусадебных участках и объектах жилищно-коммунального сектора может быть затруднительно или даже невозможно, ввиду больших габаритов, низкой маневренности и малой универсальности. Тогда целесообразнее использовать экскаватор-погрузчик, который лишен перечисленных недостатков.

Современный экскаватор-погрузчик имеет высокую производительность, а также широкую номенклатуру навесного оборудования (в том числе и гидравлического), которая позволяет расширить область использования машин и повысить эффективность выполняемых ею работ. Подключение навесного гидравлического оборудования происходит в два этапа: закрепление оборудования на рукояти экскаватора посредством модулей сопряжения и подключение его к гидравлической системе через быстроразъемные соединения.

Однако использование экскаваторов и экскаваторов-погрузчиков при разработке прочных и смерзшихся пород затруднительно или невозможно без предварительной подготовки их к выемке. В таких случаях необходимо уменьшить прочность массива, путем применения дополнительных машин или технологий разупрочнения и разрушения породы.

Основной задачей конструирования рабочих органов выемочно-погрузочных машин является снижение энергоемкости разработки массива. Поскольку процесс копания породы повышенной крепости характеризуется высокой энергоемкостью, то ее снижение ведет к росту эффективности использования машины и ее рабочего оборудования.

Эффективность работы экскаватора-погрузчика можно повысить за счет уменьшения максимального сопротивления копанию, что приведет к уменьшению работы на экскавацию массива [1,2].

Энергоемкость процесса разработки породы экскаватором, Дж/м3:

$$a = a_1 + a_2 \quad (1)$$

где a_1 - энергоемкость, затраченная на движение корпуса ковша (по тяговым силам), Дж/м^3; a_2 - энергоемкость, затраченная на разрушение массива зубьями, Дж/м^3.

При разрушении горных пород повышенной крепости среди без взрывных способов наиболее перспективны способы, реализующие удар и резание. Повышение эффективности данного способа возможно путем разработки КАД, что позволяет интенсифицировать процесс разрушения и расширить область применения экскаваторов на мерзлых и прочных массивах. Характерной особенностью рабочих органов ударного действия является наличие ударной части, способной накапливать значительные запасы энергии и резко передавать ее в массив, как правило, посредством внедряющегося рабочего инструмента [3].

Величина энергоемкости зависит от работы, совершаемой ковшом активного действия КАД при разработке массива, и объема разрушенной породы:

$$a_1 = A_1/V; \quad (2)$$

$$a_2 = A_2/V, \quad (3)$$

где A_1 – работа, затраченная на движение корпуса ковша, Дж; A_2 - работа, затраченная на разрушение массива зубьями, Дж; V - объем породы в ковше, м^3.

Объем породы в ковше определяется:

$$V = q \cdot \frac{K_н}{K_р}, \quad (4)$$

где q - вместимость ковша, м^3; $K_н$ - коэффициент наполнения ковша; $K_р$ - коэффициент разрыхления.

$$A_1 = \frac{P_{01} \cdot F_{ср.к} \cdot \vartheta_к \cdot t_к}{F_{ср.з} \cdot n} \quad (5)$$

$F_{ср.з}$ - площадь поперечного сечения среза для зуба, м^2; $F_{ср.к}$ - площадь поперечного сечения среза для ковша экскаватора, м^2; n - количество зубьев; $\vartheta_к$ - скорость движения ковша, м/с; $t_к$ - время копания ковшом, с.

$$A_2 = K_{од} \cdot K_{р.м} \cdot t_к \cdot A_{ед} \cdot f, \quad (6)$$

$A_{ед}$ - энергия единичного удара, Дж; f - необходимая частота ударов бойка по инструменту; $K_{од}$, $K_{р.м}$ - коэффициенты, учитывающие одновременность и время работы ударных блоков за период копания.

С точки зрения энергоемкости, эффективность разработки породы экскаватором, оборудованным ковшом активного действия будет выше, если выполняется условие:

$$a_{КАД} < a_р + a_э, \quad (7)$$

где $a_{КАД}$ - энергоемкость процесса разработки породы экскаватором с ковшом активного действия, Дж/м^3; $a_р$ - энергоемкость процесса разупрочнения породы и подготовки ее к экскавации, Дж/м^3; $a_э$ - энергоемкость процесса экскавации массива с базовым ковшом, Дж/м^3 [3,4].

На основе рассмотренных теоретических сведений разработаны алгоритмы расчета энергетической эффективности работы экскаватора-погрузчика с базовым ковшом и навесным гидромолотом (рис. 1), а также с ковшом активного действия (рис. 2).

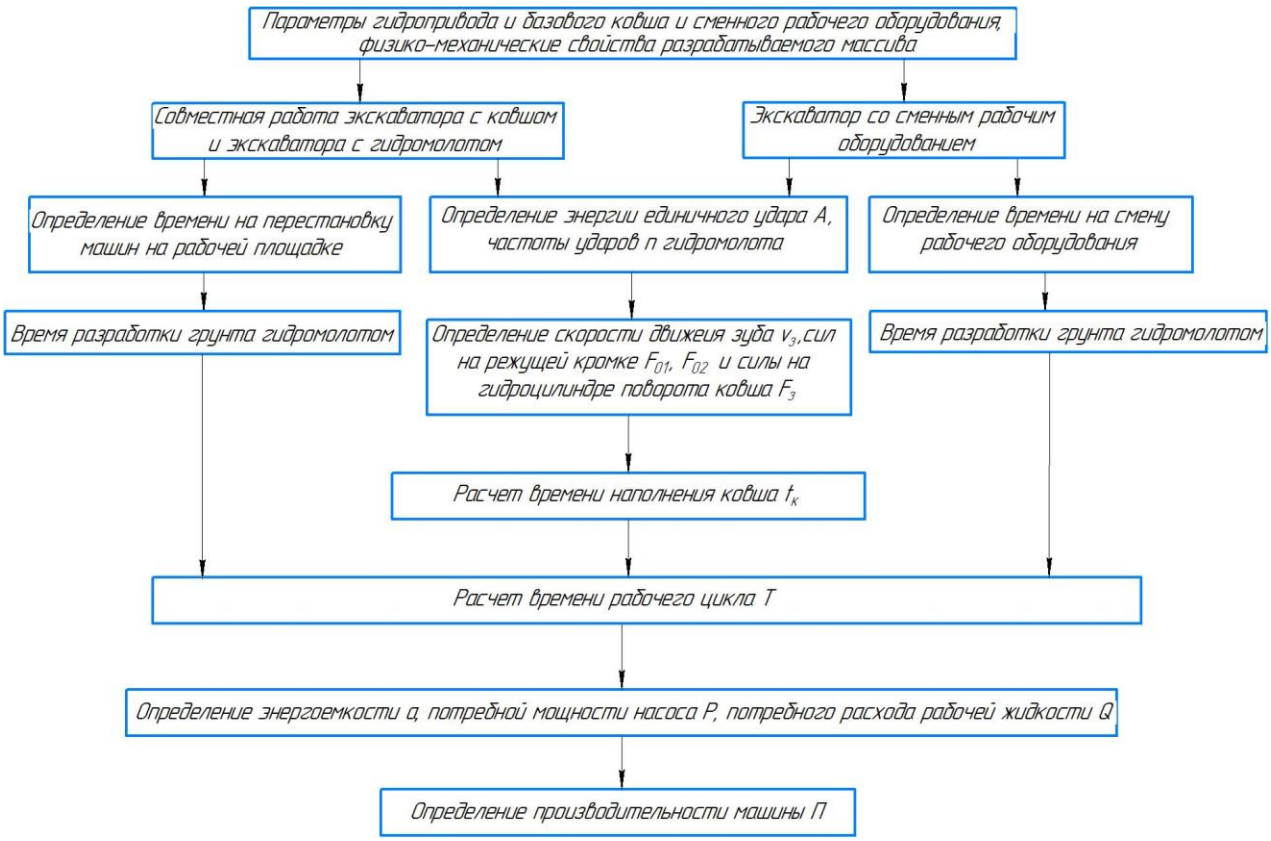


Рисунок 1 — Алгоритм расчета энергетической эффективности работы комплекта машин

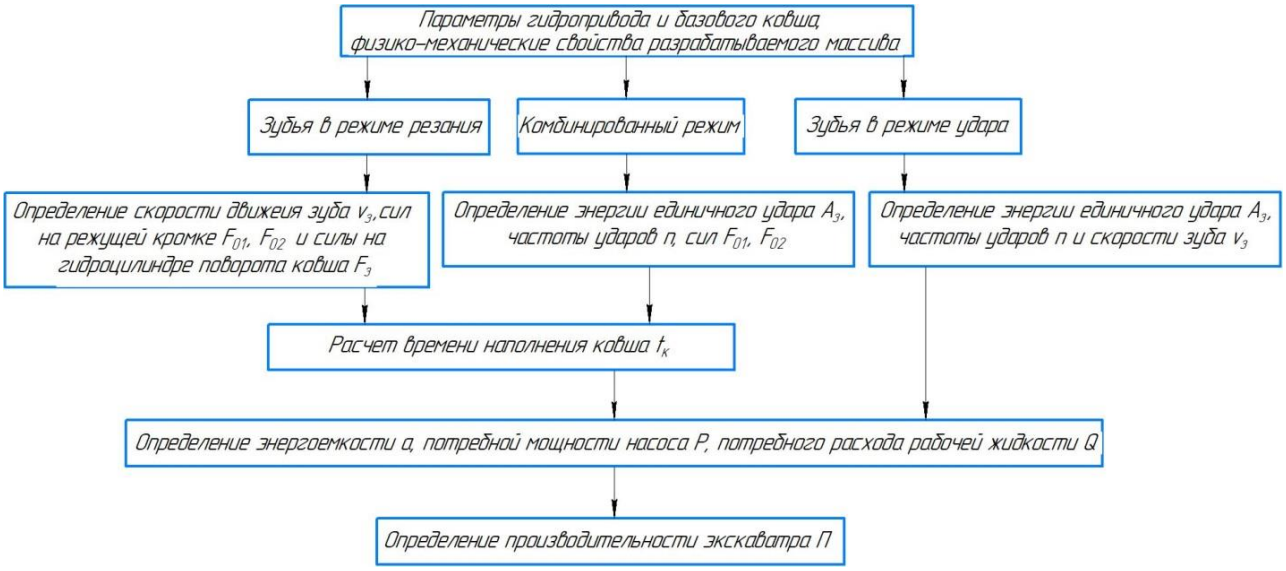


Рисунок 2 — Алгоритм расчета энергетической эффективности работы экскаватора-погрузчика с активным ковшом

Проведен расчет энергетической эффективности экскаватора-погрузчика 2 размерной группы CAT 428E с объемом ковша 0,25м^3 при работе с навесным гидромолотом и КАД, результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Эффективность работы экскаватора-погрузчика со стандартным рабочим оборудованием и с КАД

Параметры	Разработка грунта с предварительным разупрочнением гидромолотом			КАД
	Навесной гидромолот	Ковш	Общие	
Время работы РО в цикле, *t*, с	20	5	25	5
Время смены РО / машин, с	100			-
Затраченная работа, *A*, кДж	184,3	97,4	281,7	153,8
Энергоемкость, *a*, кДж/м^3	737,1	389,7	1126,8	615,2
Потребная мощность, *P*, кВт	9,7	20,5	20,5	42,9
Производительность, м^3/ч	80	180	80	128

По результатам расчета видно, что энергоемкость технологического процесса разработки прочного массива с применением КАД почти в два раза меньше привычного способа разработки породы комплектом машин (или машины со сменным РО). К тому же машина, оснащенная КАД не тратит время на смену рабочего оборудования или на перебазировку комплекта машин на рабочей площадке, что также положительно влияет на ее производительность и рациональность применения. Однако использовать КАД при работе с мягкими, вязкими и сильно налипающими на инструмент грунтами нецелесообразно, т.к. разработка таких грунтов наиболее эффективна статическим резанием ковша [3,5].

Эффективность работы экскаватора-погрузчика, оснащенным СГУ КАД будет зависеть от количества ударных устройств, от одновременности их работы, энергии единичного удара и от свойств грунта с которым он взаимодействует.

Низкая энергоемкость позволяет снизить затраты на эксплуатацию техники, использовать машины более низкой мощности при сохранении производительности, либо, наоборот, увеличить производительность при неизменной мощности [6, 7].

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № государственной регистрации 121052600390-5. Результаты работы приняты для использования в: Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН) при создании современных систем гидроударных устройств наземных и подземных машин, Сибирском государственном университете путей сообщения (СГУПС) при подготовке специалистов по наземным транспортно-технологическим средствам [8, 9, 10, 11].

Библиографический список

1. Чеченков М.С. Разработка прочных грунтов. Л.: Стойиздат, 1987.- 232 с.

2. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. - М.: Машиностроение, 1971. - 357 с.

3. Белоногов Л.Б. Янковский Л.В. Машины и оборудование для разработки мерзлых грунтов: учебное пособие. - Пермь, 2000. - 148 с.

4. Маттис А.Р. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.- 337 с.

5. Маттис А.Р. Создание экскаваторных ковшей активного действия: автореф. диссертации д-ра техн. наук. - Новосибирск, 1992. - 46 с.

6. Городилов Л.В. Разработка основ теории гидроударных систем объемного типа для исполнительных органов горных и строительных машин: автореф. диссертации д-ра техн. наук. - Новосибирск, 2010. - 42 с.

7. Муравский А.К. Обоснование параметров экскаваторного ковша с повышенными силовыми возможностями: диссертация канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2012. – 129 с.

8. Абрамов, А.Д., Задорин, Г.П., Манаков, А.Л., Маслов, Н.А. Повышение эффективности подготовки инженеров-инноваторов для ОАО «РЖД» [Текст] / А.Д. Абрамов, Г.П. Задорин, А.Л. Манаков, Н.А. Маслов // Железнодорожный транспорт, 2019. - № 5, с.29-34.

9. Абрамов, А.Д., Манаков, А.Л., Маслов, Н.А. Инновационные разработки студенческого научного объединения СГУПС - производству [Текст] / А.Д. Абрамов, А.Л. Манаков, Н.А. Маслов // Железнодорожный транспорт, 2020. - № 3, с.66-70.

10. Абрамов, А.Д., Манаков, А.Л., Маслов, Н. А. Талантливая молодежь Сибири - транспорту будущего [Текст] / А.Д. Абрамов, А.Л. Манаков, Н.А. Маслов // Путь и путевое хозяйство, 2022. - № 4, с.36-37.

11. Абрамов, А.Д., Манаков, А.Л., Маслов, Н. А. Железнодорожники в гостях у авиаторов [Текст] / А.Д. Абрамов, А.Л. Манаков, Н.А. Маслов // Путь и путевое хозяйство, 2022. - № 7, с.40.

УДК 620.111.2
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_70

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР

А. А. Кузнецов[1], А. В. Пономарев[1], Г. В. Волчанин[1], К. И. Фомиченко[1]
1. Омский государственный университет путей сообщения, пр. Маркса. 35, г. Омск, 644046, Россия

Аннотация. Диагностирование коррозионного состояния железобетонных опор контактной сети требует внедрения автоматизированных средств контроля и применения цифровых технологий обработки данных.

Предложена методика и технические средства визуального контроля, обеспечивающие повышение качества изображения, за счет устранения колебаний положения гибкого оптического зонда при его вертикальном перемещении, обеспечивающая повышение уровня автоматизации процесса диагностирования с регистрацией координат дефектов и документального подтверждения в виде пополняемой базы данных изображений объекта диагностирования – внутренней поверхности полых железобетонных опор от поверхности грунта до их основания.

В данной статье представлены результаты формирования панорамного изображения цилиндрической поверхности получаемой с использованием управляемого видеоэндоскопа. Данный метод позволяет выполнить визуальный контроль и осмотр поверхности в труднодоступных местах. Целью является поиск дефектов и коррозионных повреждений на полученных изображениях, а так же разработка системы обработки и хранения данных состояния коррозионных дефектов опор.

Ключевые слова: железобетонные опоры, внутренняя поверхность, коррозия, визуальный контроль, информационная система, панорамное изображение.

IMAGE PROCESSING OF VISUAL INSPECTION OF INTERNAL SURFACES OF HOLLOW REINFORCED CONCRETE SUPPORTS

A. A. Kuznetsov [1], A. V. Ponomarev[1], G. V. Volchanin[1], K. I. Fomichenko[1]
1. Omsk State Transport University (OSTU). 35, Marx av., Omsk, 644046, Russian Federation

Abstract: Diagnosing the corrosion condition of reinforced concrete supports of the contact network requires the introduction of automated controls and the use of digital data processing technologies.

A technique and technical means of visual control are proposed to improve image quality by eliminating fluctuations in the position of a flexible optical probe during its vertical movement, which provides an increase in the level of automation of the diagnostic process with the registration of coordinates of defects and documentary confirmation in the form of a replenished database of images of the object of diagnosis – the inner surface of hollow reinforced concrete supports from the ground surface to their base.

This article presents the results of the formation of a panoramic image of a cylindrical surface obtained using a controlled video endoscope. This method allows you to perform visual inspection and inspection of the surface in hard-to-reach places. The goal is to search for defects and corrosion damage in the obtained images, as well as to develop a system for processing and storing data on the state of corrosion defects of supports.

Keywords: reinforced concrete supports, internal surface, corrosion, visual control, information system, panoramic image.

В настоящее время железобетонные конструкции находят широкое применение на электрифицированном транспорте. Однако по некоторым причинам происходит снижение срока службы опор контактной сети, и потеря ими несущей способности. Это приводит к разрушению контактной сети, что влечет за собой крупные экономические потери. Основной причиной разрушения опор контактной сети является электрохимическая коррозия стальной арматуры железобетонной конструкции, которую вызывают блуждающие токи.

Существующие методы диагностирования железобетонных опор КС помогают решить задачу выявления предаварийного состояния, но имеют ряд недостатков [1-5]:

- метод откопки опор является трудозатратным из-за откопки опоры и влияния человеческого фактора;
- индуктивный метод также требует откопки опоры; влияние на показание прибора внешнего электромагнитного поля; невозможность диагностирования через арматурную сетку; влияние изменения толщины защитного слоя и усилия прижима датчика; наличие коррозии определяется по косвенным показателям;
- акустический и электрохимический методы определяют наличие коррозии по косвенным признакам;
- вибрационный метод позволяет диагностировать лишь надземную часть, тем самым не определяя наличие и степень коррозии.

Перспективное устройство для диагностирования коррозионного состояния основано на определении количественного состава продуктов коррозии арматуры на труднодоступных поверхностях железобетонных изделий на основе лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии (ЛИЭС). Волоконно-оптический кабель перемещают вдоль внутренней поверхности опоры и делают необходимое количество измерений количественного состава продуктов коррозии [6, 7]. Недостатком устройства является сложность точного наведения лазера на предполагаемый дефект и невозможность отсчета координат предполагаемого дефекта.

Предлагаемое устройство диагностирования коррозионного состояния внутренней поверхности железобетонных опор представляет собой мехатронный комплекс с управлением перемещения гибкого зонда видеоэндоскопа, представленный на рис. 1. Мехатронный комплекс содержит систему управления перемещением оптического зонда видеоэндоскопа внутри железобетонных опор контактной сети с регистрацией координат предполагаемых дефектов и получение изображений таких дефектов с указанием их размеров и координат расположения. Видеоэндоскоп включает в себя гибкий оптический зонд с короткофокусным объективом и систему подсветки. Гибкий оптический зонд имеет возможность перемещения за счет применения шагового двигателя и поворота дистальной части в четырех направлениях, изображение через объектив попадает оптоэлектронный преобразователь, затем сигнал по кабелю передается в блок преобразования и

выводится на монитор. Результатом является проведение панорамного сканирования внутренней части железобетонной опоры контактной сети, а для получения данных о состоянии опор используется управляющий персональный компьютер и алгоритм обработки полученных изображений с дефектами.

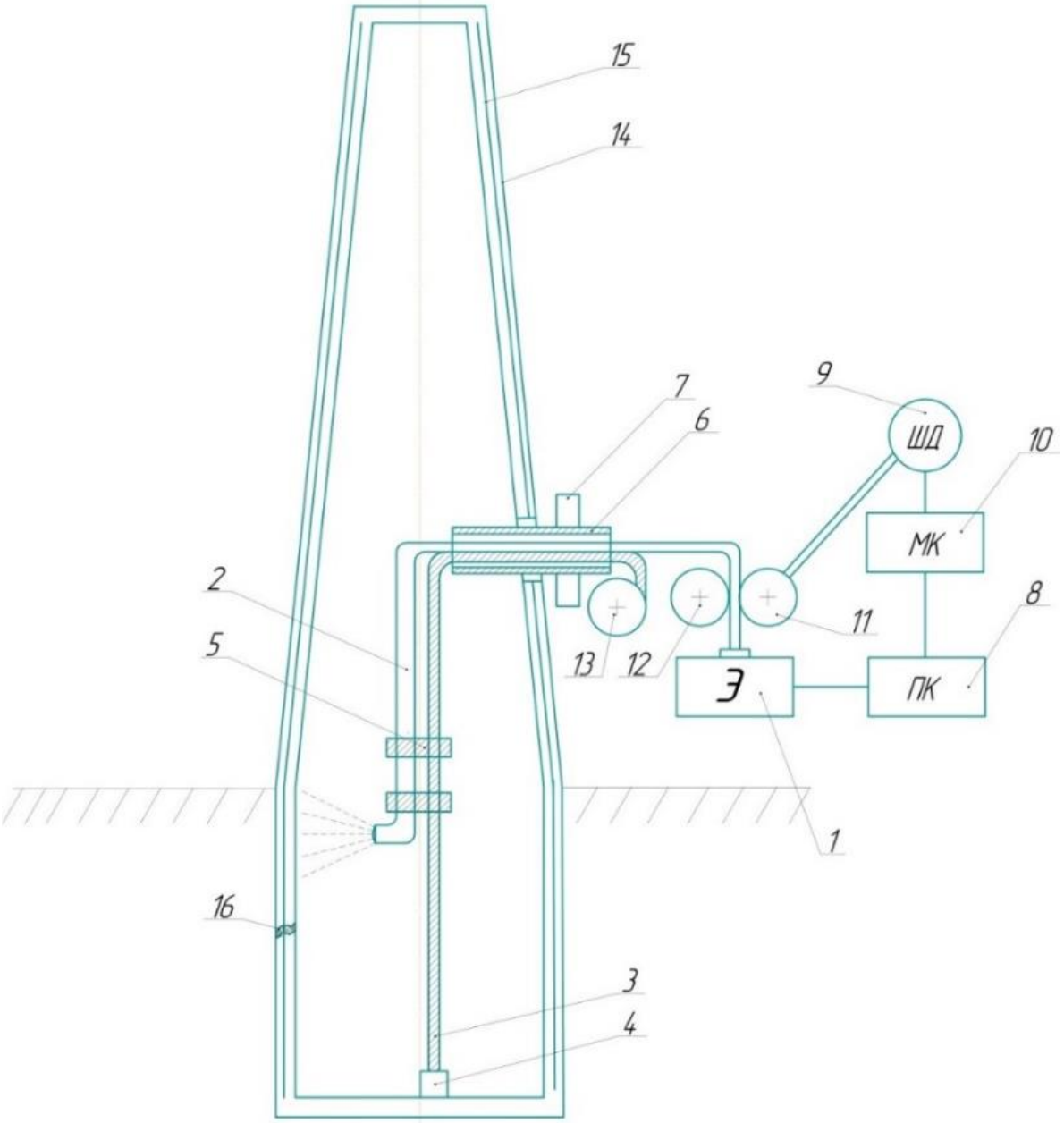


Рис. 1 – Устройство диагностирования коррозионного состояния внутренней поверхности железобетонных опор контактной сети: видео- эндоскоп 1 с гибким оптическим зондом 2, направляющий трос 3 с грузом 4, фиксирующие кольца 5, направляющая трубка 6 с ограничительным кольцом 7, управляющий персональный компьютер 8, шаговый двигатель 9, микроконтроллер 10, приводной ролик 11, прижимной ролик 12, катушка направляющего троса 13, железобетонной опорой контактной сети 14 установленной в грунт, со стальными арматурными стержнями 15 и возможным коррозионным дефектом 16.

Для проверки работоспособности мехатронного комплекса и получения панорамного изображения был изготовлен макет полой железобетонной опоры, в виде цилиндра высотой 160 см, диаметром 40 см, показанный на рис. 2. Внутренняя поверхность цилиндра размечена на квадраты размером 10x10 см. Обозначения квадратов выполнено в цилиндрической системе координат. Первая цифра обозначает линейное перемещение вниз (см), относительно технологического отверстия. Вторая цифра – угол поворота, относительно вертикальной линии, проходящей через технологическое отверстие. Квадрату со стороной 10 см соответствует поворот на 30 угловых градусов. В качестве технических средств визуального контроля использовался видеоэндоскоп типа *JProbe-VE* с гибким зондом диаметром 6 мм и длиной 3 м, с возможностью управления дистальной частью.

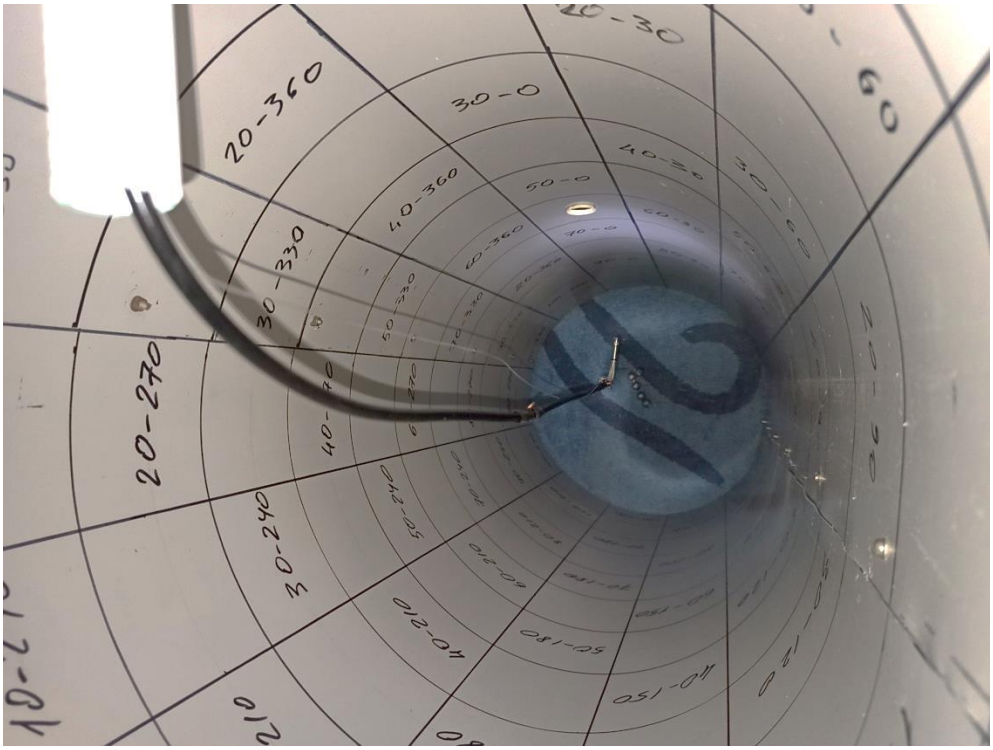


Рис. 2 – Макет внутренней поверхности железобетонной опоры с разметкой в цилиндрической системе координат

Графическая схема алгоритма работы программы представлена на рис. 3. В качестве доступных критериев сортировки предполагаются следующие варианты: по наименованию, по расположению, по типу, по году установки. Однако основным критерием сортировки отображаемых опор, используемым по умолчанию, предлагается планируемая дата следующей проверки опоры. Так в первую очередь будут показаны опоры, которые нужно проверить в ближайшее время.

При добавлении (создании) опоры указывается ее наименование (условное обозначение в соответствии с принятой на предприятии системой обозначения опор), год установки, тип опоры, информация о расположении. Все эти параметры могут корректироваться в дальнейшем при необходимости.

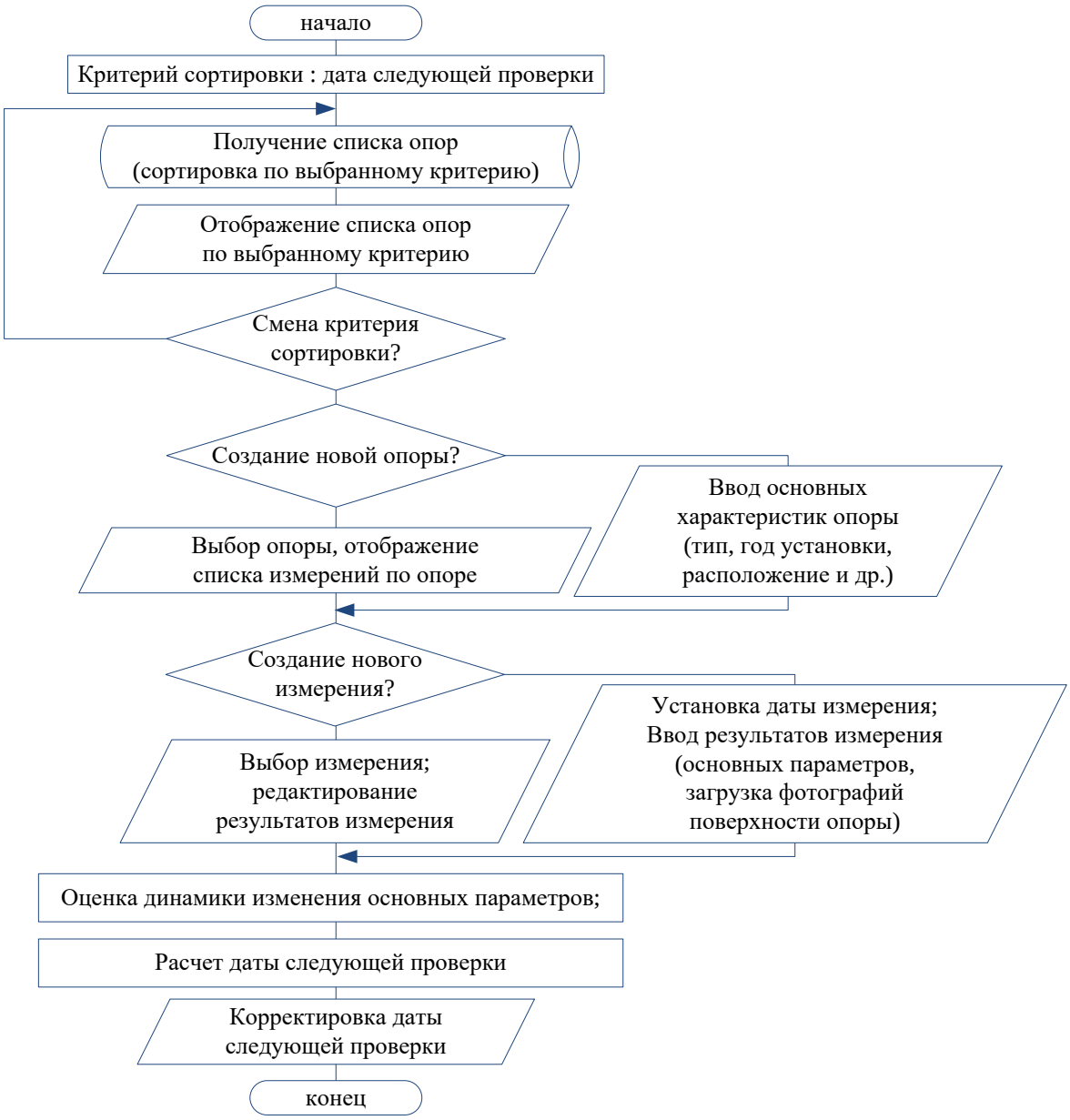


Рис. 3 – ГСА основного модуля программы

При выборе опоры отображается список измерений, проведенных на этой опоре. По каждому измерению хранятся следующие данные:

– дата проведения измерения;

– планируемая дата следующей проверки опоры (выставляется вручную или автоматически на основе разработанного алгоритма, учитывающего текущее состояние опоры);

– описание измерения (позволяет в свободной форме описать, какие измерения выполнены, какие особенности выявлены при диагностике опоры);

– фотографии внутренней поверхности опоры, выполненные в процессе диагностики;

– параметры дефектов, определенные по фотографиям и анализу видеоизображения процесса диагностирования.

Данные обо всех опорах и проведенных измерениях предлагается хранить в локальной базе данных. Информация об опорах располагается в таблице *Supports*. Информация о проведенных измерениях – в таблице *Measurings*. При этом количество фотографий, выполненных для каждого измерения, а также количество выявленных дефектов может различаться. Поэтому фотографии и информацию о найденных дефектах решено вынести в две отдельные таблицы: *Images* и *Defects*. В итоге структура базы данных с указанием связей между таблицами показана на рис. 4.

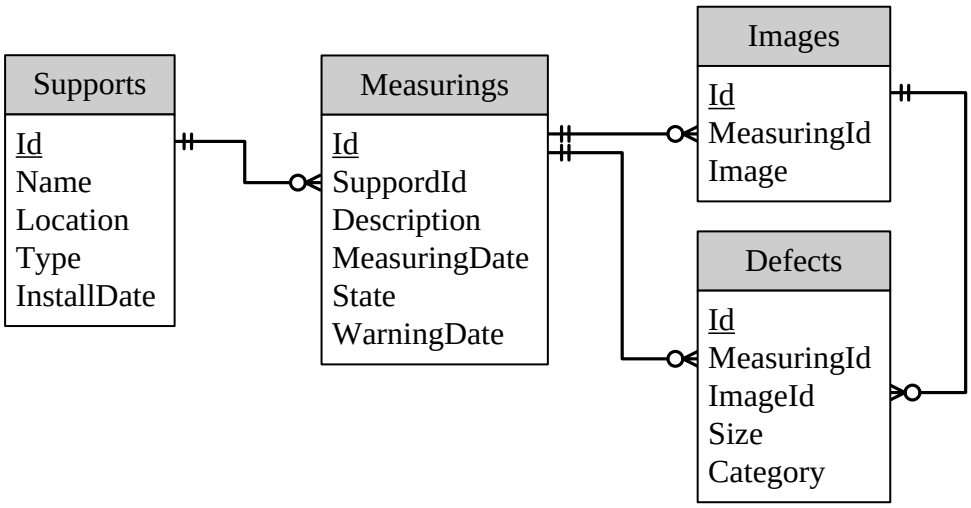


Рис. 4 – Структура базы данных

При нахождении дефекта предлагается его классифицировать. Поэтому в таблице *Defects* предусмотрены поля, указывающие категорию дефекта, численную оценку его величины, а также ссылки на фотографию, на которой он был обнаружен, и на соответствующее измерение.

По итогам обработки информации о дефектах определяется состояние опоры (по установленной системе категоризации) и предлагаемая дата следующей проверки опоры.

Примерный вид главного окна программы приведен на рис. 5.

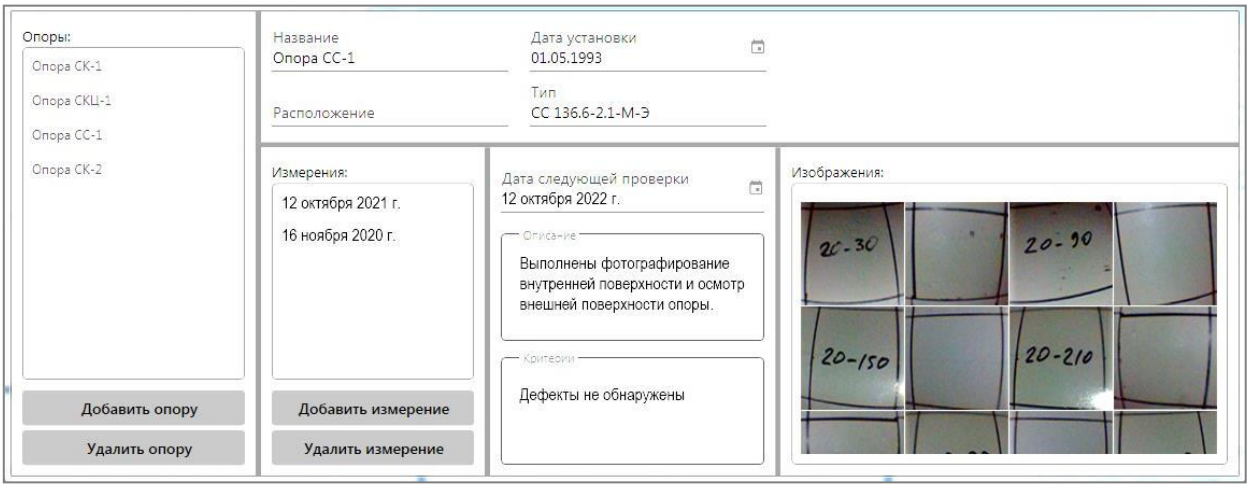


Рисунок 5 – Внешний вид главного окна программы

В результате проведенных исследований разработан макетный образец мехатронного комплекса для визуального контроля дефектов коррозии полых железобетонных опор. Разработана информационная система обработки и хранения панорамного изображения внутренней поверхности опоры. Панорамное изображение получено с учетом разрешающей способности и угла обзора камеры видеоэндоскопа. Описанная система позволяет определять координаты дефектов с точностью не менее 1 мм.

Библиографический список

1. Кузнецов А. А., Кузьменко А. Ю. Результаты испытания переносного прибора контроля изоляторов контактной сети / Омский научный вестник. 2015. №1(137). С. 120-123.

2. Москвин В. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.

3. Бенин, А. В. Моделирование процесса разрушения элементов железобетонных конструкций под действием коррозии арматуры / А. В. Бенин, А. С. Семенов, С. Г. Семенов // Известия ПГУПС. 2010. № 2. С. 138-149.

4. Подольский, В. И. Железобетонные опоры контактной сети. Конструкции, эксплуатация, диагностика [Текст]: труды ВНИИЖТ/В. И. Подольский. – М.: Интекст, 2007. 152 с.

5. Котельников А. В. Блуждающие токи и эксплуатационный контроль коррозионного состояния подземных сооружений систем электроснабжения железнодорожного транспорта. Монография / А. В. Котельников, В. А. Кандаев. Москва: УМЦ ЖД. 2013. 552 с.

6. Брюхова А. С., Кузнецов А. А., Селиверстова И. В., Попов А. М., Лабутин Т. А., Зоров Н. Б. Оценка деградации железобетонных изделий по продуктам коррозии арматуры методом лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии. / Журнал прикладной спектроскопии. 2020. 87(5). С. 719-723.

7. Кузнецов А. А. Определение количественного содержания продуктов коррозии на поверхности железобетонных изделий / А.А. Кузнецов, А.С. Брюхова // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 160 – 164.

8. Москвин В. М. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры / В. М. Москвин, С. Н. Алексеев, Г. П. Вербецкий, В. И. Новгородский. М.: Стройиздат. 1971. 144с.

9. Повышение информативности процесса диагностирования двигателей автомобилей за счет технической эндоскопии / Е. В. Агеев, А. В. Щербаков, Ю. Г. Алехин, С. А. Грашков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22. № 1(76). С. 18-26.

10. Кандаев В. А., Леденёв М. А., Пономарев А. В. Программный модуль формирования панорамного изображения внутренней поверхности подземной части пустотелых железобетонных опор контактной сети и анализа распознанных неоднородностей // Известия Транссиба. Омск. 2017. № 1 (29). С. 99 – 105.

УДК 622.27: 622.236
DOI 10.52170/2712-9195_2022_3_77

СМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА ДЛЯ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБОРКИ ОТКОСОВ ИНЕРЦИОННО-УДАРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

А.В. Морозов, С.Я. Левенсон, М.А. Ланцевич
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
Красный проспект, 54, г. Новосибирск, 630091, Россия

Аннотация: Систематическая оборка откосов уступов карьеров должна быть обязательной операцией, повышающей безопасность горных работ. На многих предприятиях эти работы выполняются не регулярно из-за отсутствия необходимого оборудования. В настоящее время среди известных способов механизированной оборки поверхности откоса наиболее эффективным средством является тяжелый гидравлический экскаватор, оборудованный роторной фрезой. Однако такой экскаватор характеризуется ограниченными линейными параметрами. Проанализирована возможность использования на этой операции строительного экскаватора с удлиненной стрелой, укомплектованного новым сменным оборудованием – молотковым ротором, который может быть выполнен в виде барабана, к которому по винтовой линии прикреплены цепи, на концевых звеньях которых установлены ударные элементы – молотки. При вращении барабана молотки наносят удары по обрабатываемой поверхности и разрушают опасные породные выступы и ослабленные участки, на которых риск вывала скальной породы наиболее вероятен. Экспериментально подтверждено, что для обработки поверхности предлагаемым способом значительных усилий прижатия и перемещения рабочего органа в направлении разрушения твердого материала не требуется.

Ключевые слова: глубокий карьер, оборка откосов, безопасность, карьерный гидравлический экскаватор, строительный экскаватор, разрушение резанием, инерционно-ударное разрушение, молотковый ротор.

REMOVABLE EQUIPMENT OF HYDRAULIC EXCAVATOR FOR SYSTEMATIC SLOPE TRIMMING WITH INERTIAL IMPACT WORKING BODY

A. V.Morozov, S. Ya. Levenson, M. A.Lantsevich
Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, 630091,Russia

Annotation: The systematic trimming of open pit slopes should be a mandatory operation to increase the safety of mining operations. In many enterprises these works are not performed regularly due to the lack of the necessary equipment. Currently, among the known methods of mechanized trimming of slope surface, the most effective means is a heavy hydraulic excavator equipped with a rotary cutter. However, such an excavator has limited linear parameters. The possibility of using a construction excavator with an elongated boom in this operation, equipped with new removable equipment - a hammer rotor, is analyzed. The hammer rotor can be made in the form of a drum, on which chains with impact elements - hammers are fixed along a helical line. When the drum rotates, the hammers strike the treated surface and destroy hazardous rock ledges and weakened areas where the risk of rock fall is most likely. It has been experimentally confirmed that for surface treatment by the proposed method, significant pressing and movement of the working body in the destruction direction of the solid material is not required.

Keywords: Deep open pit, slope trimming, safety, mining hydraulic excavator, construction excavator, cutting destruction, inertial impact destruction, hammer rotor.

Увеличение глубины карьеров ведет к росту общих площадей откосов уступов, поставленных в конечное положение, и необходимого срока безопасной эксплуатации бортов. Под действием осадков, сезонного изменения температуры, из-за наличия ранее возникших нарушений от взрывных работ, сейсмического воздействия от производимых буровзрывных работ на прилегающих участках карьера поверхности откосов разрушаются и возникает необходимость их периодической оборки. При этом требуемый объем этих работ постоянно возрастает.

Для обеспечения безопасности горных работ на карьере оборка откосов от слабозакрепленной и рыхлой породы должна производиться систематически, однако это требование часто не выполняется, в первую очередь, из-за отсутствия специализированного оборудования для этих целей, а также высокой трудоемкостью процесса.

На большинстве горных предприятий для выполнения такой операции используются гидравлические экскаваторы с различным сменным оборудованием: ковшами, перфораторами, гидромолотами, а также фрезерными устройствами.

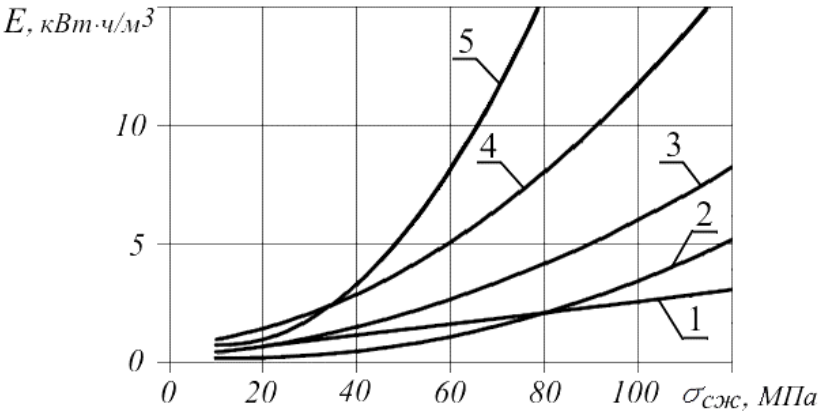
Известны и другие способы оборки: цепью, прикрепляемой к бульдозеру или экскаватору, гидромонитором или вручную с привлечением промышленных альпинистов, использующих в своей работе ручной пневматический ударный инструмент.

В настоящее время наиболее эффективным средством механизированной оборки поверхности откоса является карьерный гидравлический экскаватор, оборудованный роторной фрезой. Однако, для работы фрезы необходимо обеспечить значительные усилия прижатия и перемещения в направлении требуемого разрушения породы, что обусловливает использование на этих операциях тяжелых гидравлических экскаваторов с ограниченными линейными параметрами и, как следствие, невозможность обработки откосов уступов высотой более 10 м.

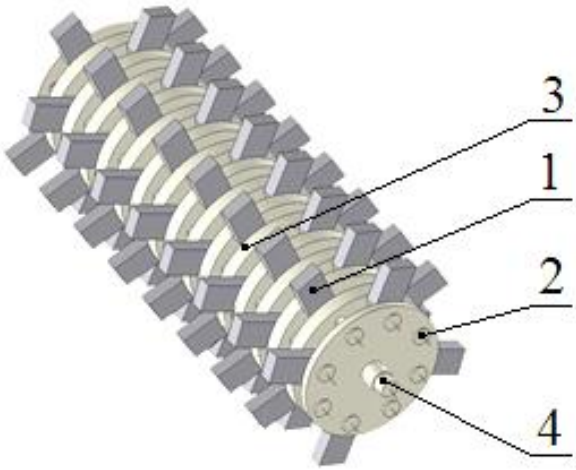
В Институте горного дела СО РАН активно ведутся работы по созданию новых рабочих органов машин для реализации безвзрывных технологий выемки горных пород с применением механических способов разрушения – удара и резания, как наименее энергоемких и наиболее освоенных промышленностью [1 – 6]. Анализ известных способов разрушения горных пород показал, что среди безвзрывных наименее энергоемким является разрушение ударом, что подтверждается результатами, показанными на графиках (рис. 1) [5]. Предложены, в частности, принципиально новая технология и оборудование для инерционно-ударного разрушения горных пород в наклонной плоскости рудного или породного уступа [7, 8].

Для реализации технологии используется струг, рабочий орган которого выполнен в виде молоткового ротора (рис. 2). Молотки 1 ротора, свободно

подвешенные на осях 2, размещены между дисками 3, жестко закрепленными на валу 4. Отбойка горной массы осуществляется в поверхностном слое откоса за счет кинетической энергии вращающихся молотков.



1 – взрывной способ разрушения; 2 – послойное ударное разрушение;
3 – повторно-блокированное резание дисковыми шарошками;
4 – резание вращающимися тангенциальными резцами;
5 – свободное резание шарошками.
Рис. 1. Зависимость удельной энергоемкости разрушения горных пород от их прочности

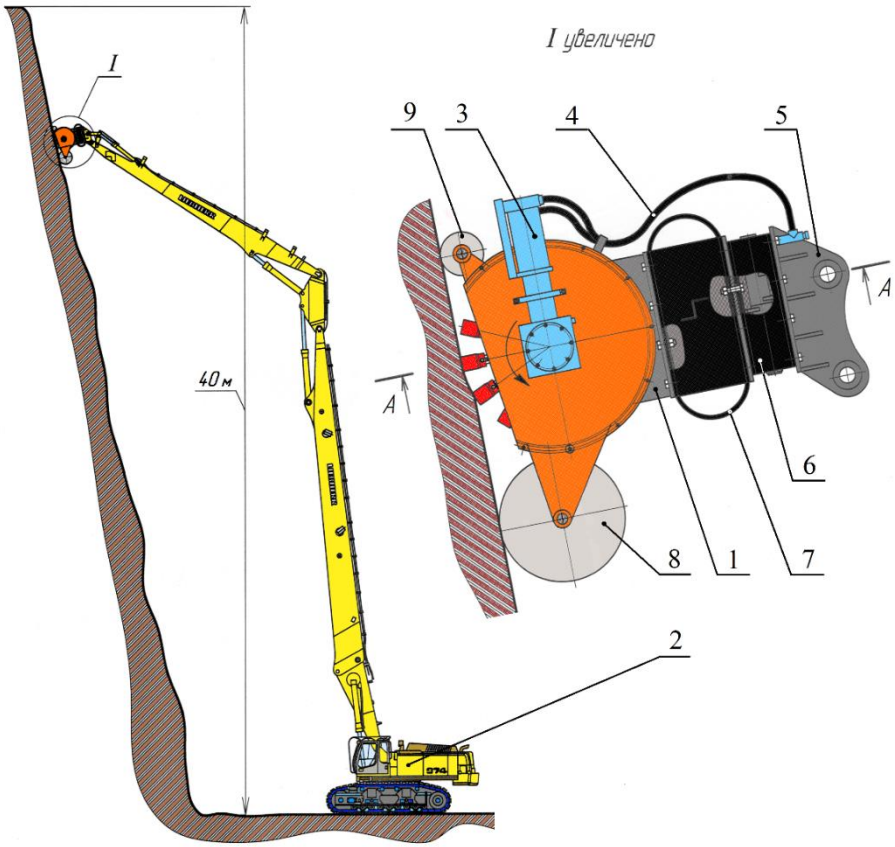


1 – молоток; 2 – ось; 3 – диск; 4 – вал.
Рис. 2. Общий вид молоткового ротора

Новое сменное оборудование гидравлического экскаватора. Для оборки откосов уступов из скальных горных пород предлагается использовать рабочий орган с молотковым ротором в качестве навесного оборудования 1 (рис. 3) на строительный гидравлический экскаватор 2 с длинной (до 30 … 40 метров) стрелой. Молотковый ротор может быть выполнен в виде барабана 10 (рис. 4), к которому по винтовой линии прикреплены цепи 14, на концевых звеньях которых установлены ударные элементы – молотки 15. При вращении барабана молотки

наносят удары по обрабатываемой поверхности и разрушают опасные породные выступы и ослабленные участки, на которых риск вывала скальной породы наиболее вероятен, а также участки из рыхлой породы. При оборке молотковый ротор работает в режиме дробилки, разрушенный материал не представляет опасности для оборудования, так как состоит из мелких кусков и пыли, отлетающих в сторону от места стоянки экскаватора за счет подвески молотков по винтовой линии. Ротор может вращаться в любую сторону, что может быть полезно при оборке проблемных участков уступа для отделения нависших камней.

Так как молотковый ротор является сменным оборудованием, в процессе первичной оборки для удаления участков откоса из мягких или рыхлых пород периодически может использоваться штатный поворотный ковш с зубьями. На современных гидравлических экскаваторах предусмотрена возможность быстрой замены рабочего органа. При вторичной оборке и при необходимости некоторой заоткоски уступа из твердых пород может использоваться молотковый ротор.



1 – навесное оборудование; 2 – гидравлический экскаватор; 3 – гидромотор; 4 – шланги для подачи и слива масла; 5 – переходная плита; 6, 7 – упругие элементы; 8, 9 – колеса.

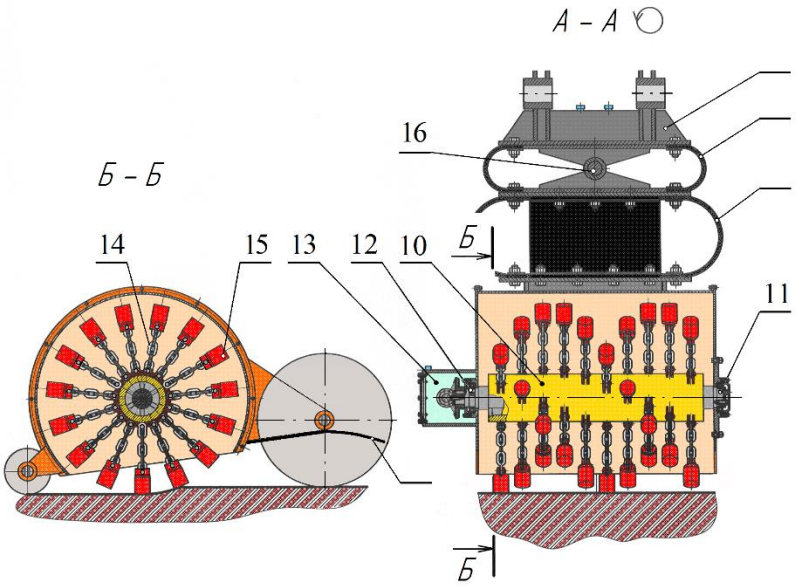
Рис. 3. Оборка откосов молотковым ротором

Основное достоинство молоткового ротора по сравнению с фрезерными устройствами заключается в том, что необходимые для его функционирования усилия прижатия и перемещения близки к нулю. Задача гидравлического

экскаватора – доставить рабочий орган в зону оборки, обеспечить подачу масла к гидромотору, вращающему ротор и осуществлять его перемещение по поверхности откоса. Следовательно, можно использовать строительный экскаватор с достаточно длинной стрелой и относительно невысокими массой и стоимостью.

На рис. 3 представлена схема оборки откоса высокого уступа серийным гидравлическим экскаватором, оборудованным молотковым ротором. Его конструкция, оснащенная упругими элементами 6 и 7 (рис. 3) и шарниром 16 (рис. 4), а также значительная длина стрелы позволяют вести обработку таким образом, чтобы падающий материал не попадал на кабину и ходовую часть базовой машины, а осыпался за ее пределами. Этому также способствует расположение молотков 15 на барабане молоткового ротора 10, выполненное по винтовой линии.

Для проверки принципиальной возможности оборки горных пород молотковым ротором и оценки необходимых усилий прижатия и перемещения рабочего органа в ИГД СО РАН были проведены эксперименты на лабораторном стенде.



10 – барабан молоткового ротора; 11, 12 – опоры барабана; 13 – редуктор; 14 – цепь; 15 - молоток; 16 – шарнир; 17 – фартук.

Рис. 4. Принципиальная схема сменного навесного оборудования (молоткового ротора для оборки откосов) на гидравлический экскаватор

Рис. 5. Штроба после обработки бетонного блока однорядным молотковым ротором

На рис. 5 изображен общий вид штробы, сформированной в лабораторных условиях в бетонном образце с помощью однорядного молоткового ротора, ударные элементы (молотки) которого подвешены на цепях. В ходе эксперимента значительных усилий прижатия и перемещения в направлении разрушения породы на опорных элементах молоткового ротора не зафиксировано.

Выводы. В настоящее время наиболее эффективным средством механизированной оборки поверхности откоса является тяжелый гидравлический экскаватор, оборудованный роторной фрезой.

В перспективе наиболее технологичным средством для систематической оборки откосов высоких (до 30 м) уступов может стать строительный гидравлический экскаватор, оборудованный молотковым ротором.

Библиографический список

1. Федулов А.И., Лабутин В.Н. Ударное разрушение мерзлых грунтов и горных пород // ФТПРПИ. – 1995. – №5. – С. 57 – 61.

2. Маттис А. Р., Кузнецов В.И., Васильев Е.И. и др. Экскаваторы с ковшом активного действия: Опыт создания, перспективы применения. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. – 174с.

3. Кузнецов В.И., Маттис А.Р., Ташкинов А.С. и др. Эффективность экскавации вскрышных пород на карьерах при использовании безвзрывной технологии // ФТПРПИ. – 1997. – № 5. – С.100 – 107.

4. Маттис А.Р., Зайцев Г.Д. Создание экскаватора большой единичной мощности для безвзрывной разработки горных пород// ФТПРПИ. – 2000. – № 6. – С. 47 – 52.

5. Маттис А.Р., Ческидов В.И., Яковлев В.Л. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2007. – 337 с.

6. Маттис А.Р., Лабутин В.Н., Ческидов В.И. К созданию активного ротора для машин послойного фрезерования // ФТПРПИ. – 2008. – №2. – С. 95 – 102.

7. Левенсон С. Я., Ланцевич М. А., Гендлина Л. И., Акишев А.Н. Новая технология и оборудование для безвзрывного формирования рабочей зоны глубоких карьеров // ФТПРПИ. – 2016. – № 5. – С. 125 – 132.

8. Фокин А.Б. О возможности использования инерционно-ударного способа разрушения горных пород при добыче полезных ископаемых // Труды XXIII Международного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». – г. Томск, ТПУ, 2019. – Т. 2. – С. 523 – 525.

9. Rock Slope Engineering: civil and mining / Duncan C. Wyllie, Christopher W. Mah. – 4th ed. – London: Spon Press, 2004. – 456 p.