

Технические науки. Архитектура и строительство

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2024-06>

УДК: 625.768.6

МРНТИ: 68.75.15

Обоснование применения технических средств для борьбы со скользкостью на автомобильных дорогах и тротуарах

^{*1}Елемес Д.Е., ²Жамигазина Ж.А.

¹Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан

²Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент email: elemes-darkhan@yandex.ru

Аннотация

В зимний период на автомобильных дорогах и тротуарах формируется снежно-ледяной слой (СЛО), затрудняющий движение транспорта и пешеходов, снижая коэффициент сцепления шин с дорожной поверхностью и повышая риск дорожно-транспортных происшествий. В условиях резко континентального климата Казахстана, где использование химических реагентов для борьбы со скользкостью ограничено, особую актуальность приобретает разработка эффективных механических методов очистки дорожного покрытия. Настоящая работа посвящена разработке конструкции упругого рабочего органа льдоскалывателя, способного разрушать СЛО за счёт режуще-скалывающего воздействия. Конструкция основана на использовании криволинейной упругой рессоры, которая под действием нагрузки совершает сложные колебательные движения в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Проведённые экспериментальные исследования включали измерение деформации рессоры при различных нагрузках, определение зависимостей между нагрузкой и деформацией, а также выбор оптимальных параметров рабочего органа, включая массу ударника и частоту колебаний. Результаты показали высокую эффективность разработанного льдоскалывающего оборудования, позволяющего существенно снизить энергозатраты на разрушение СЛО, повысить производительность очистки дорог и тротуаров и уменьшить эксплуатационные расходы. Кроме того, применение данной технологии обеспечивает минимальное воздействие на несущий слой дорожного покрытия и снижает экологическую нагрузку за счёт отказа от большого количества химических реагентов. Работа выполнена в рамках проекта АР05130653 при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан. Разработка имеет практическое значение для повышения безопасности дорожного движения в зимний период и может быть внедрена в эксплуатацию дорожно-коммунальными службами.

Ключевые слова: скользкость, наледь, дорожное покрытие, льдоскалыватель, вибровозбудитель.

Поступила:
17 марта 2024
Рецензирование:
14 апреля 2024
Принята в печать:
25 мая 2025

Елемес Д.Е.	Информация об авторах: Кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Транспортная техника и организация перевозок», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-5645-1481 , E-mail: elemes-darkhan@yandex.ru
Жамигазина Ж.А.	Магистр технических наук, старший преподаватель Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-7616-1630 , E-mail: zhuldyz_kudabaeva@mail.ru

Техникалық ғылымдар. Сәулет және құрылыс

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2024-06>

ӘОЖ: 625.768.6

ГТАМР: 68.75.15

Автомобиль жолдары мен тротуарларда тайғақтықпен күресу үшін техникалық құралдарды қолдану негіздемесі***¹Елемес Д.Е., ²Жамигазина Ж.А.**¹Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан*Автор-корреспондент email: elemes-darkhan@yandex.ru

<p>Мақала келді: 17 наурыз 2024 Сараптамадан өтті: 14 сәуір 2024 Қабылданды: 25 мамыр 2024</p>	<p>Түйіндеме</p> <p>Қыс мезгілінде автомобиль жолдары мен тротуарларда қар-мұз қабаты (қабаты) пайда болады, бұл көлік пен жаяу жүргіншілердің қозғалысын қиындатады, шиналардың жол бетіне жабысу коэффициентін төмендетеді және жол-көлік оқиғаларының қаупін арттырады. Тайғақтықпен күресу үшін химиялық реагенттерді пайдалану шектелген Қазақстанның күрт континенттік климаты жағдайында жол төсемін тазалаудың тиімді механикалық әдістерін әзірлеу ерекше өзекті болып отыр. Бұл жұмыс кесу-кесу әсерінен қабатты бұзуға қабілетті серпімді жұмыс органының құрылымын жасауға арналған. Дизайн қисық серпімді серіппені қолдануға негізделген, ол жүктеме әсерінен тік және көлденең жазықтықтарда күрделі тербелмелі қозғалыстар жасайды. Жүргізілген эксперименттік зерттеулер әртүрлі жүктемелер кезінде серіппелі деформацияны өлшеуді, жүктеме мен деформация арасындағы тәуелділікті анықтауды және жұмыс органының оңтайлы параметрлерін, соның ішінде соққы массасы мен тербеліс жиілігін таңдауды қамтыды. Нәтижелер қабаттың бұзылуына энергия шығынын едәуір төмендетуге, жолдар мен тротуарларды тазалау өнімділігін арттыруға және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік беретін әзірленген мұз жаратын жабдықтың жоғары тиімділігін көрсетті. Сонымен қатар, бұл технологияны қолдану жол төсемінің жүк көтергіш қабатына минималды әсер етуді қамтамасыз етеді және көптеген химиялық реагенттерден бас тарту арқылы экологиялық жүктемені азайтады. Жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің қолдауымен ар05130653 жобасы шеңберінде орындалды. Әзірлеу қысқы кезеңде жол қозғалысының қауіпсіздігін арттыру үшін практикалық маңызы бар және оны жол-коммуналдық қызметтер пайдалануға енгізе алады.</p> <p>Түйін сөздер: тайғақ, мұз, жол жамылғысы, мұз жарғыш, діріл қоздырғышы.</p>
<p>Елемес Д.Е.</p>	<p>Авторлар туралы ақпарат: Техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік технологиясы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-5645-1481. E-mail: elemes-darkhan@yandex.ru</p>
<p>Жамигазина Ж.А.</p>	<p>Техника ғылымдарының магистрі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің аға оқытушысы, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-7616-1630. E-mail: zhuldyz_kudabaeva@mail.ru</p>

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2024-06>

UDC: 625.768.6

IRSTI: 68.75.15

Justification of the use of technical means to combat slipperiness on highways and sidewalks

*¹Yelemes D.E., Zhamigazina Zh. A.

¹Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan

²D.Serikbaev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

*Corresponding author email: elemes-darkhan@yandex.ru

<p>Received: 17 J March 2024 Peer-reviewed: 14 April 2024 Accepted: 25 May 2024</p>	<p>Abstract</p> <p>In winter, snow and ice layers form on highways and sidewalks, making it difficult for vehicles and pedestrians to move, reducing the coefficient of adhesion of tires to the road surface and increasing the risk of traffic accidents. In the conditions of Kazakhstan's sharply continental climate, where the use of chemical reagents to combat slipperiness is limited, the development of effective mechanical methods for cleaning the road surface is of particular relevance. The present work is devoted to the development of a design of an elastic working body of an ice chipper capable of destroying a layer due to cutting and chipping effects. The design is based on the use of a curved elastic spring, which under the influence of a load performs complex oscillatory movements in the vertical and horizontal planes. The experimental studies carried out included the measurement of spring deformation under various loads, the determination of the relationship between load and deformation, as well as the selection of optimal parameters of the working body, including the mass of the impactor and the frequency of vibrations. The results showed the high efficiency of the developed ice-crushing equipment, which significantly reduces the energy consumption for the destruction of layers, increases the productivity of cleaning roads and sidewalks and reduces operating costs. In addition, the use of this technology ensures minimal impact on the load-bearing layer of the road surface and reduces the environmental burden by eliminating a large number of chemicals. The work was carried out within the framework of the AP05130653 project with the support of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. The development is of practical importance for improving road safety in winter and can be put into operation by road utilities.</p> <p>Keywords: slipperiness, ice, road surface, ice breaker, vibration exciter</p>
<p>Yelemes D.E.</p>	<p>Information about authors:</p> <p>Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department "Transport technology and organization of Transportation", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-5645-1481. E-mail: elemes-darkhan@yandex.ru</p>
<p>Zhamigazina Zh. A.</p>	<p>Master of technical sciences, senior lecturer of D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, E-mail: zhuldyz_kudabaeva@mail.ru</p>

Введение

В зимний период на автомобильных дорогах и тротуарах часто образуется ледяной слой, который значительно затрудняет движение транспорта и пешеходов, снижая коэффициент сцепления шин автомобилей с дорожной поверхностью. Это явление не только создает неудобства, но и повышает риск дорожно-транспортных происшествий, особенно в условиях резко континентального климата Казахстана, где наблюдаются значительные перепады температур и обильные осадки.

Для борьбы с зимней скользкостью на дорогах применяются различные методы: распределение химических реагентов, посыпка фрикционными или комбинированными материалами, механическое удаление льда. Наиболее эффективным и экологически безопасным методом считается механическое разрушение льда, например, с помощью ударного воздействия. Такой подход позволяет удалять ледяной слой без повреждения дорожного покрытия, обеспечивая безопасность движения и снижая эксплуатационные затраты.

Разработка новых рабочих органов (РО) для льдоскалывающей техники, способных эффективно разрушать ледяные отложения на дорогах и тротуарах, представляет собой важное направление исследований. В рамках данной работы рассматривается механический способ очистки дорожных покрытий с использованием упругого рабочего органа льдоскалывателя, способного осуществлять сложные колебательные движения и генерировать режуще-скалывающее воздействие на ледяной слой. Технология направлена на повышение эффективности очистки дорог и тротуаров в зимний период, снижение затрат и улучшение экологической обстановки.

Методы

Для борьбы с ледяным слоем на дорогах и тротуарах рассматривалась разработка нового рабочего органа льдоскалывателя, обеспечивающего эффективное разрушение снежно-ледяных отложений (СЛО) с минимальными затратами энергии. Основой конструкции является упругий рабочий орган, выполненный в виде криволинейной рессоры, закреплённой на корпусе установки. Рабочий орган способен деформироваться одновременно вниз и вперёд под действием внешней нагрузки, а затем возвращаться в исходное положение, обеспечивая скалывающе-режущее воздействие на СЛО.

Для исследования деформаций рессоры были проведены лабораторные испытания. Установка включала балку-рессору, шарнирно закреплённую с одного конца и оставленную свободной с другого. Нагрузки прикладывались сверху, измеряя вертикальное и горизонтальное перемещение рабочей части рессоры. Для фиксации данных использовался прибор ИПР-1 с точностью измерения 0,01 мм.

Динамические испытания проводились на стенде, оборудованном вибровозбудителем, который задавал колебания рессоре. Эксперименты позволили построить графики зависимости деформации от приложенной нагрузки, а также определить параметры колебаний, необходимые для эффективного разрушения СЛО. Был проведён сравнительный анализ моделей с применением различных форм рабочих органов, включая сферические и кубические боёк, с целью выявления наиболее эффективной конфигурации для практического применения.

Эксперименты по изучению процесса разрушения ударом льда на твёрдом покрытии были проведены и описаны в работе [9].

Результаты

В результате проведённых экспериментальных исследований установлены взаимосвязи между параметрами процесса, выявлены закономерности разрушения льда под

действием удара, определены закономерности перераспределения энергии и выведены эмпирико-теоретические зависимости для расчёта параметров рабочего органа (РО) ударного действия с учётом характеристик льда, например, массы ударника или частоты вращения РО, необходимых для разрушения ледяного слоя заданной толщины на дороге.

На основе инженерного и математического анализа в рамках проекта АР05130653 (договор с МОН РК № 104 от 05.03.2018 г.) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» был исследован льдоскалыватель с рабочим органом, имеющим нетрадиционную кубическую форму инерционных тел – бойков (Рисунок 2). Результаты экспериментальных исследований, а также полученные эмпирико-теоретические зависимости между параметрами рабочего органа ударного действия с кубической рабочей поверхностью для разрушения льда, с учётом характеристик льда, изложены в статье [10].

Минимальные энергозатраты на разрушение 1 м³ снежно-ледяных или ледяных покрытий дорожного основания являются важнейшим показателем эффективности льдоскалывающей техники. Прежние принципы, технологии и средства очистки дорог от снежно-ледяного наката оказались малоэффективными и не позволяли снизить эти затраты [11]. Для эффективного разрушения льда требуется использовать новые методы воздействия на разрушаемый материал, которые при этом сохраняют целостность несущего слоя автомобильных дорог.

Настоящая работа посвящена разработке льдоскалывающего оборудования, генерирующего сложное режуще-скалывающее воздействие на снежно-ледяной слой на автодорогах и тротуарах [11]. Основной принцип работы нового рабочего органа заключается в сложном колебании его скалывающей части в вертикальной и горизонтально-поступательной плоскостях, с возможностью одновременного возвратно-поступательного движения поперёк направления движения машины, с симметричным отклонением от оси льдоскалывателя. Дополнительно конструкция предусматривает возможность изменения длины рабочего органа синхронно с его колебаниями. В разработанном устройстве нагрузки действуют вертикально, с возможностью последующего горизонтального смещения скалывающей части упругого рабочего органа.

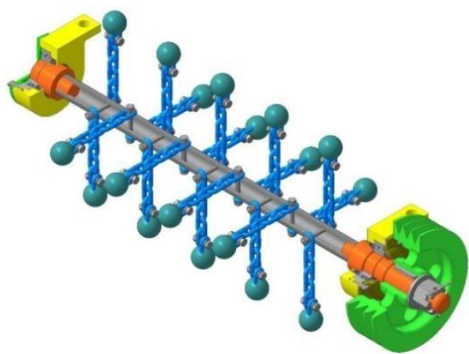


Рисунок 1. Схема рабочего органа льдоскалывателя со сферическими бойками

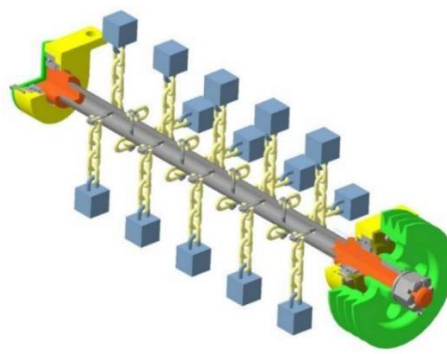


Рисунок 2. Схема рабочего органа льдоскалывателя с кубическими бойками

Это достигается за счёт одновременной деформации упругой криволинейной рессоры, которая представляет собой упругий элемент рабочего органа льдоскалывателя, вниз и вперёд (см. рисунок 3), а затем циклически в обратном направлении – вверх и назад. Криволинейный брус-рессора одним концом шарнирно закреплён на корпусе мотоблока, а другой конец, снабжённый скалывающе-режущим элементом (кромкой), остаётся свободным (рисунок 4). Колебания рессоре придаются вибровозбудителем, смонтированным на самой рессоре и имеющим заранее рассчитанные характеристики, обеспечивающие эффективное функционирование данной конструкции льдоскалывателя.

Расчёт параметров деформации упругого бруса-рессоры показывает, что при деформации рабочего органа происходит изгиб, характеризующийся изменением кривизны оси. В этом случае изгибающий момент и поперечная сила отличны от нуля, тогда как остальные усилия по всей длине равны нулю, что соответствует схеме поперечного изгиба.

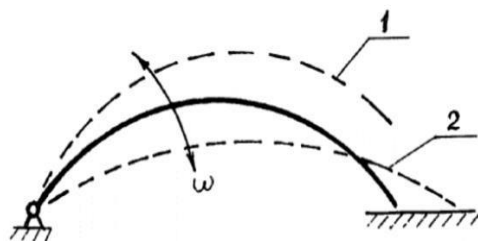


Рисунок 3. Принцип работы упругого рабочего органа льдоскалывателя скалывающе-режущего действия: крайние положения упругого элемента под действием возмущающей силы; 1 – верхнее положение; 2 – нижнее деформированное положение

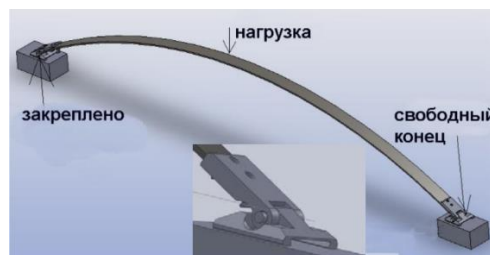


Рисунок 4. Лабораторная схема деформации единичной рессоры: во вставке показан увеличенный свободный конец упругой рессоры

Для предлагаемого способа приложения нагрузки обеспечивающего вертикальное и горизонтальное смещение рабочего органа рассмотрим нижеследующее:

Представим упругую рессору как балку с прямолинейной осью и рассмотрим изменение формы упругой рессоры под нагрузкой пролетом ℓ , подвижно закрепленной концами и подгруженной распределённой силой и сосредоточенной нагрузкой, а также определим величину наибольшего прогиба f_c (рис. 6).

$$f_c = \frac{12Q\ell^2}{48bs^3E} + \frac{5G\ell^3}{384bs^3E} \quad (1)$$

где I – момент инерции сечения; E – модуль упругости; Q – поперечная нагрузка; $g=G/\ell$ – распределённая нагрузка.

Определим величину наибольшего прогиба f_c для балки с прямолинейной осью, применив геометрические параметры упругой, криволинейной рессоры: длина $\ell = 1235$ мм; ширина $b = 45$ мм; толщина $s = 6,5$ мм; материал – сталь 65 Г.

Применим изменение нагрузки от 1 кг до 20 кг и примем модуль упругости как для легированной стали $E = 2,1 \times 10^5$ МПа, $G = 3,072$ кг.

Сравнительный анализ показателей показывает, что применение формулы для расчёта деформаций балки с прямолинейной осью неприемлемо для нашего планируемого криволинейного рабочего элемента.

Во-первых, у прямолинейной балки при приложении нагрузки нет перемещения «вперед», которое наиболее важно при реализации принципа подрезания и скалывания в новых условиях работы. Во-вторых, горизонтальное движение «вперед» должно нести на режущей кромке интегральный заряд кинетической энергии, способный разрушить и расколоть снежно-ледяное образование (СЛО) на поверхности автодорог, оставляя в целости их несущую поверхность.

В случае с прямолинейной балкой эти эффекты отсутствуют, а в расчете просто не предусмотрены эти перемещения из-за их отсутствия.

Поэтому возникает необходимость экспериментального определения деформаций криволинейной упругой рессоры под известной нагрузкой.

Экспериментальное исследование деформации единичной рессоры. Для экспериментальных лабораторных исследований была собрана установка, включающая как саму упругую балкурессору, так и приборы фиксации перемещений и приложения инерционной нагрузки.

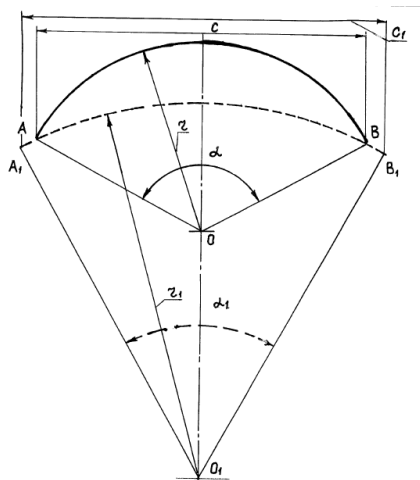


Рисунок 5. Схема деформации рессоры при $\ell = \text{const}$

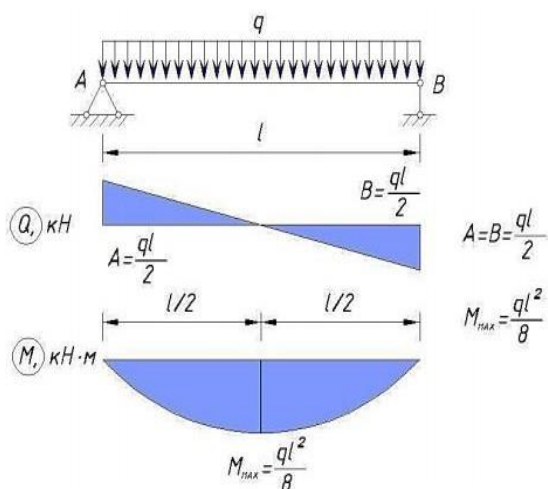


Рисунок 6. Расчётная схема упругой балки льдоскалывателя

Один конец рессоры был шарнирно закреплён на основании, второй оставался подвижным. Нагрузка воздействовала сверху, вертикальные перемещения фиксировались в центре рессоры, горизонтальные перемещения определялись на свободном конце рессоры, передвигающемся туда-обратно по лабораторному столу. Для проведения замеров (рис. 7, позиция 2) использовался измеритель прогиба упругих листов рессор ИПР-1 (пр-во Омск, РФ) с ценой делений 0,01 мм и диапазоном замера стрелы прогиба упругой рессоры 0-90 мм. Иначе говоря, нагружалась середина рессоры 1 весовой нагрузкой 3, увеличение которой автоматически выводило на компьютер вертикальное проседание рессоры (рис. 8), а горизонтальное перемещение свободного конца рессоры протекало по тарированной сетке на поверхности лабораторного стола.

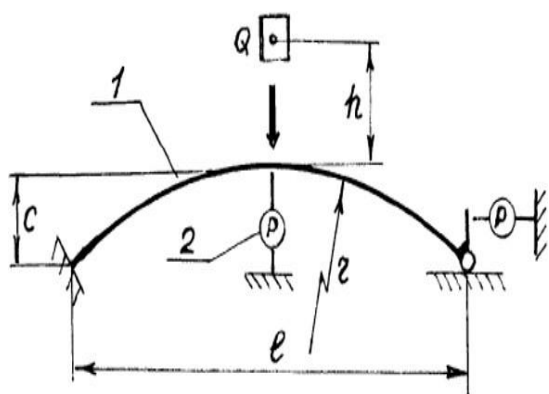


Рисунок 7. Схема измерения деформации упругой рессоры

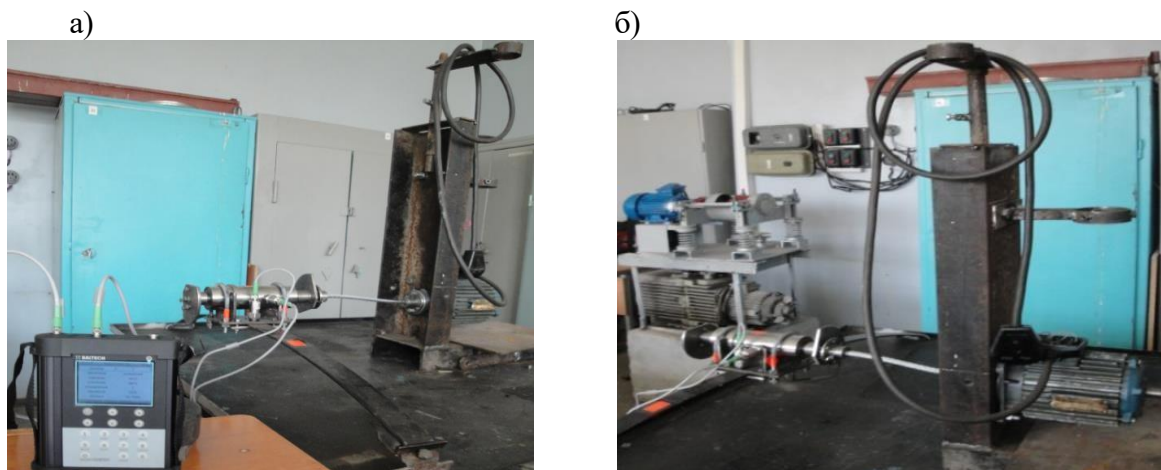


Рисунок 8. Измерение вертикальной деформации

Для проведения стендовых динамических испытаний рабочего органа ледоскалывателя разработана лабораторная установка (рис.9). Зависимость связывает нагрузку и деформа-

цию рессоры в некий «тарировочный» график (рис. 10): если надо определить величину деформации для определенной силы или нагрузки, то по графику можно увидеть, насколько изменит свои параметры упругая рессора при воздействии именно этой нагрузки.

Точно так же, пользуясь данным графиком, по величине известной деформации рессоры можно определить требуемую силу воздействия, чтобы заранее подобрать источник этой силы. Например, если величина вертикальной деформации составляет 11,5 мм, тогда в весовом исчислении нагрузка должна быть подобрана не меньше (равна) 10 кг.



а - вид спереди; б - вид сзади

Рисунок 9. Стенд для динамических испытаний

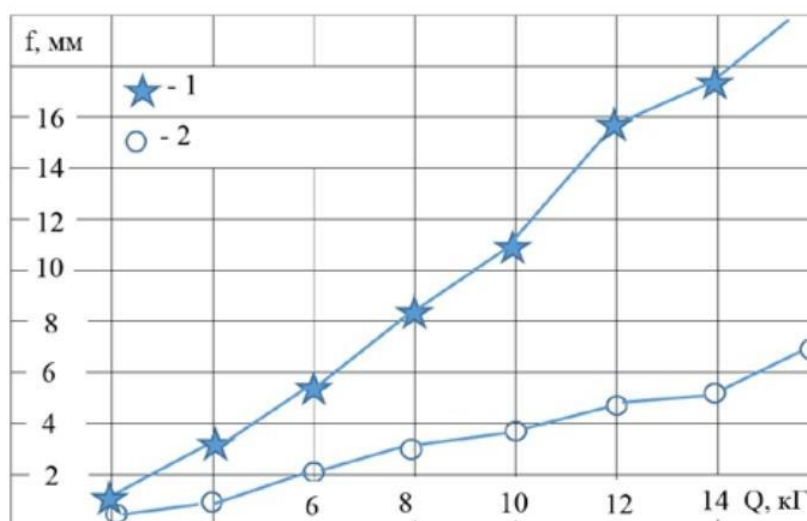


Рисунок 10. График замеров упругой деформации рессоры:
1 – вертикальное перемещение; 2 – горизонтальное перемещение

График на рис. 10 дает доказательство того, что упругая рессора, применяемая в качестве рабочего органа льдоскалывателя, действительно будет изменять свою длину, а, значит, под нагрузкой будет скалывать СЛЮ

По приведенным выше исследованиям была спроектирована, разработана и собрана рабочая модель (опытный образец) скалывающе-режущего льдоскалывателя, оснащенного упругой рессорой с вибровозбудителем, выступающей в качестве рабочего органа (рис. 11).



Рисунок 11. Опытный образец льдоскалывателя с упругим рабочим органом

Обсуждение

Проведённые исследования подтвердили, что использование упругой рессоры в конструкции рабочего органа льдоскалывателя позволяет эффективно разрушать снежно-ледяной накат на дорожном покрытии за счёт сложного колебательного движения. Полученные экспериментальные данные и построенные зависимости между нагрузкой и деформацией рессоры позволяют точно рассчитать оптимальные параметры конструкции для различных эксплуатационных условий.

Разработанная конструкция рабочего органа со скалывающе-режущим элементом, способная к возвратно-поступательным и сложным колебаниям, демонстрирует значительное снижение энергозатрат по сравнению с традиционными методами очистки дорог. Это обусловлено перераспределением энергии удара и более эффективным разрушением ледяного слоя без повреждения несущего слоя дорожного покрытия.

В условиях резко континентального климата Казахстана использование жидких химических реагентов сталкивается с рядом технологических ограничений, тогда как механический метод удаления льда остаётся наиболее приемлемым и экологически безопасным вариантом. Разработка льдоскалывающего оборудования с упругим рабочим органом не только повышает эффективность зимнего содержания дорог и тротуаров, но и снижает затраты на эксплуатацию, сокращает количество техники и улучшает экологическую ситуацию.

Кроме того, использование вибровозбудителя позволяет задать оптимальные колебания рессоры, увеличивая производительность процесса разрушения льда. Сравнительный анализ показывает, что предложенный подход может существенно повысить безопасность дорожного движения в зимний период и снизить риск возникновения аварийных ситуаций.

Выводы

В данной работе разработан упругий рабочий орган льдоскалывателя для зимнего содержания автомобильных дорог и тротуаров, состоящий из упругого скалывающего рабочего органа ударно-режущего действия, позволяющего эффективно бороться с СЛО и обледенениями на автомобильных дорогах и тротуарах. Применение упругого рабочего органа может значительно повлиять на работу и эффективность деятельности ЖКХ: увеличить скорость разрушения СЛО и тонкого льда, и очистки от них внутридомовых и придомовых территорий, что позволит улучшить общее состояние тротуаров и дорог в зимний период, значительно снизив их травмоопасность, и уменьшить расходы на их содержание.

Конфликт интересов. Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Елемес Д.Е., Жамигазина Ж.А. Обоснование применения технических средств для борьбы со скользкостью на автомобильных дорогах и тротуарах // Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyryn Khabarshysy. 2024; 2 (6):55-65. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2024-06>

Cite this article as: Elemes D.E., ZHamigazina ZH.A. Obosnovanie primeneniya tekhnicheskikh sredstv dlya bor'by so skol'zkost'yu na avtomobil'nyh dorogah i trotuarah [Justification of the use of technical means to combat slipperiness on highways and sidewalks]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyryn Khabarshysy. 2024, 2(6): 55-65. (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2024-06>

Литература

- [1] Гусев Л.М. Борьба со скользкостью городских дорог. Москва: Стройиздат. 1994, 29.
- [2] Баловнев В.И., Беляев М.А. и др. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: Учебное пособие. 2-е изд., доп. и перераб. Москва–Омск: ОАО «Омский дом печати». 2005, 768.
- [3] Blackburn R.J. Physical alternatives to chemicals for Highway Deicing. Transportation Research Board Special Report. 2009, N185.
- [4] Mouat T.W., Saunders R.L. Detachment of Ice from Surfaces by Application of High Intensity Light. Transportation Research Board Special Report. 2009, N185.
- [5] Воскресенский Г.Г. Создание и исследование комплекса машин для очистки покрытий автомобильных дорог от уплотнённого снега и льда. Научное обеспечение технического и социального развития Дальневосточного региона: Труды Хабаровского государственного технического университета. Хабаровск: Хабаровский государственный технический университет. 1998, 175–181.
- [6] Богородский В.В., Гаврило В.П., Недошивин О.А. Разрушение льда: методы и средства. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат. 2003, 293.
- [7] Патент Республики Казахстан №31910. Способ разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях. Бюл. №5 от 15.03.2017.
- [8] Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Вавилов А.В., Ким А.И. Начальные экспериментальные исследования процесса разрушения ударом льда на твердом покрытии дорог. Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2018;2: 99–107.
- [9] Дудкин М.В., Ким А.И., Mlynczak M., Гурьянов Г.А., Дудкина Е.Л. Натурные экспериментальные исследования по проекту ар05130653 и корректировка конструкции опытного промышленного образца льдоскалывателя для зимнего содержания дорог и тротуаров. Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2020; 2:114–120.
- [10] Doudkin M., Kim A., Guryanov G., Mlynczak M., Eleukenov M., Bugaev A., Rogovsky V. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads. JMERE. 2019; 42(4): 01–08. URL: <https://jmerd.org.my/jmerd-04-2019-01-08/>.
- [11] Quality Management: Search and Solutions. Materials of the VI International Scientific-Practical Conference. Los Angeles (CA, USA). November 25–27; 2020, 328–336.

References

- [1] Gusev L.M. Bor'ba so skol'zskost'yu gorodskikh dorog [Combating slipperiness on city roads]. Moscow: Sroizdat. 1994. 29 p. (in Russ.).

- [2] Balovnev V.I., Belyaev M.A. et al. Mashiny dlya sodержaniya i remonta gorodskikh i avtomobil'nykh dorog: Uchebnoe posobie [Machines for maintenance and repair of urban and highway roads: A textbook]. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow–Omsk: OAO “Omsky dom pechati”. 2005, 768 p. (in Russ.).
- [3] Blackburn R.J. Physical alternatives to chemicals for highway deicing. Transportation Research Board Special Report. 2009, N185.
- [4] Mouat T.W., Saunders R.L. Detachment of ice from surfaces by application of high intensity light. Transportation Research Board Special Report, 2009, N185.
- [5] Voskresenskiy G.G. Sozdanie i issledovanie kompleksa mashin dlya ochistki pokrytiy avtomobil'nykh dorog ot uplotnennogo snega i l'da [Development and study of a set of machines for clearing compacted snow and ice from road surfaces]. Nauchnoye obespechenie tekhnicheskogo i sotsial'nogo razvitiya Dal'nevostochnogo regiona: Trudy Khabarovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Khabarovsk: Khabarovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 1998, 175–181. (in Russ.).
- [6] Bogorodskiy V.V., Gavrilov V.P., Nedoshivin O.A. Razrushenie l'da: metody i sredstva [Ice destruction: methods and means]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat. 2003, 293. (in Russ.).
- [7] Pat. 31910 KZ. Sposob razrusheniya snezhno-ledyanykh obrazovaniy na dorozhnykh pokrytiyakh [Method of destroying snow-ice formations on road surfaces]. Publ. 15.03.2017; Bull. No.5. (in Russ.).
- [8] Guryanov G.A., Dudkin M.V., Vavilov A.V., Kim A.I. Nachal'nye eksperimental'nye issledovaniya protsessa razrusheniya udarom l'da na tverdom pokrytii dorog [Initial experimental studies of ice impact destruction on solid road surfaces]. Vestnik VKGTU im. D. Serikbaeva. 2018; 2:99–107. (in Russ.).
- [9] Dudkin M.V., Kim A.I., Mlynczak M., Guryanov G.A., Dudkina E.L. Natuornye eksperimental'nye issledovaniya po proektu ap05130653 i korrektyrovka konstruktssii opytnogo promyshlennogo obraztsa ldoskalyvatelya dlya zimnego sodержaniya dorog i trotuarov [Field experimental studies of project ap05130653 and adjustment of the design of an experimental industrial ice breaker for winter road and sidewalk maintenance]. Vestnik VKGTU im. D. Serikbaeva. 2020; 2: 114–120. (in Russ.).
- [10] Doudkin M., Kim A., Guryanov G., Mlynczak M., Eleukenov M., Bugaev A., Rogovsky V. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads. JMERE. 2019;42(4): 01–08. URL: <https://jmerd.org.my/jmerd-04-2019-01-08/>.
- [11] Quality Management: Search and Solutions. Materials of the VI International Scientific-Practical Conference. Los Angeles (CA, USA), November 25–27. 2020, 328–336.