



МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2021_3_78
MPHTI 55.53.13

Б.А. Молдаханов, М.В. Дудкин, А.И. Ким

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

E-mail: Bek_M78@mail.ru*

E-mail: vas_dud@mail.ru

E-mail: alinakim3107@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЬДОСКАЛЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ

МҰЗЖАРҒЫШ МАШИНАНЫҢ ТИІМДІЛІГІН НЕГІЗДЕУ

EFFICIENCY JUSTIFICATION OF THE ICE BREAKING MACHINE

Аннотация. В статье рассмотрен абсолютно новый 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.

Проведены экспериментальные исследования, в результате которых были установлены первоначальные взаимосвязи между параметрами процесса, выявлены закономерности процесса разрушения льда под действием удара, определены закономерности перераспределения энергии и последующего перехода к получению эмпирико-теоретической зависимости для определения параметров РО ударного действия с учетом характеристик льда, например массы ударника или частоты вращения РО, необходимых для разрушения на дороге ледяного покрытия заданной толщины.

Ключевые слова: снежные накатыватели льдоскалыватель, рабочий орган, эффективность, разрушение льда.

Аңдатпа. Мақалада автомобиль жолдары мен тротуарларды қысқы уақытта күтіп ұстауға арналған мұзжарғыштың жаңа жұмыс органы талқыланады, ол серпімді соққылап кесу жұмыс органынан тұрады және жолдар мен тротуарлардағы қарлы-мұз түзілімдерінің пайда болуымен күресуге мүмкіндік береді.

Мұздың сипаттамаларын ескере отырып, эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Нәтижесінде процестердің параметрлері арасындағы бастапқы байланыстары, соққы әсерінен мұзды бұзу процесінің заңдылықтары, энергияны қайта бөлу заңдылықтары мен эмпирикалық-теориялық тәуелділік және жұмыс органының жиілігі анықталды.

Түйін сөздер: қар үйінділері, мұзжарғыш, жұмыс органы, тиімділік, мұздың бұзылуы.

Abstract. The article considers an absolutely new working body of an icebreaker for winter maintenance of roads and sidewalks, consisting of an elastic shearing working body of a shock-cutting action, which makes it possible to effectively deal with SIF and icing on roads and sidewalks.

Experimental studies were carried out, as a result of which the initial relationships between the parameters of the process were established, the regularities of the process of ice destruction under the impact of an impact were revealed, the regularities of the redistribution of energy and the subsequent transition to obtaining an empirical-theoretical dependence for determining the parameters of the WU of the shock action, taking into account the characteristics of ice to determine the mass of the striker

or the rotational speed of the WU required for the destruction of an ice cover of a given thickness on the road.

Keywords: snow rolls, icebreaker, working body, efficiency, ice breaking

Введение. В зимний период на дорогах и тротуарах может образовываться ледяной слой, существенно затрудняющий движение как транспорта, так и пешеходов [1]. Это во многом обусловлено снижением коэффициента сцепления с поверхностью дороги.

В настоящее время существует несколько способов борьбы с этим явлением [1-4]. Например: распределение химических реагентов, посыпание льда фрикционными материалами, механическое удаление льда. Наиболее безвредным с экологической точки зрения и надежным по достигаемому результату является способ механического удаления льда [2, 5 – 7].

При механическом способе лед и уплотненный снег удаляются с помощью специальных рабочих органов (РО) путем срезания, скалывания, удара и т.д. Наиболее эффективным способом механического разрушения льда является удар [5-7]. Поэтому возникает необходимость в разработке новых РО для разрушения льда на дорогах ударным воздействием, например РО со сферической ударной поверхностью (рис. 1) [8], которые предотвращают повреждение дорожного покрытия в процессе разрушения льда.

Эксперименты по изучению процесса разрушения ударом льда на твердом покрытии описаны в работе [9]. По результатам проведенных экспериментальных исследований были установлены первоначальные взаимосвязи между параметрами процесса, выявлены закономерности процесса разрушения льда под действием удара, определены закономерности перераспределения энергии и последующего перехода к получению эмпирико-теоретической зависимости для определения параметров РО ударного действия с учетом характеристик льда, например массы ударника или частоты вращения РО, необходимых для разрушения на дороге ледяного покрытия заданной толщины.

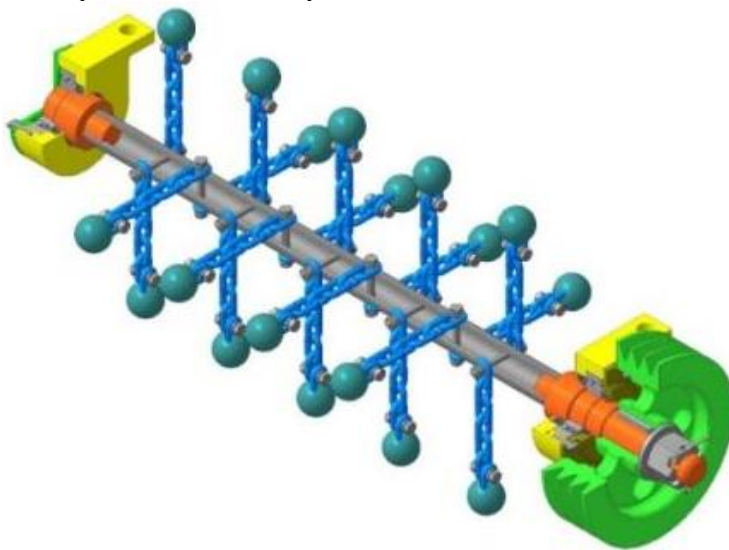


Рисунок 1. Схема рабочего органа льдоскалывателя со сферическими бойками

На основании инженерного и математического анализа в процессе работы над проектом AP09260192 «Разработка инновационного фрезерно-роторного снегоочистительного

рабочего оборудования с повышенной эффективностью работы» был исследован также льдоскалыватель с рабочим органом, имеющим нетрадиционную кубическую форму инерционных тел – бойков (рис. 2). Результаты экспериментальных исследований и полученная эмпирико-теоретическая зависимость между параметрами рабочего органа ударного действия с кубической рабочей поверхностью для разрушения льда, с учетом характеристик льда, вкратце изложены в статье [10].

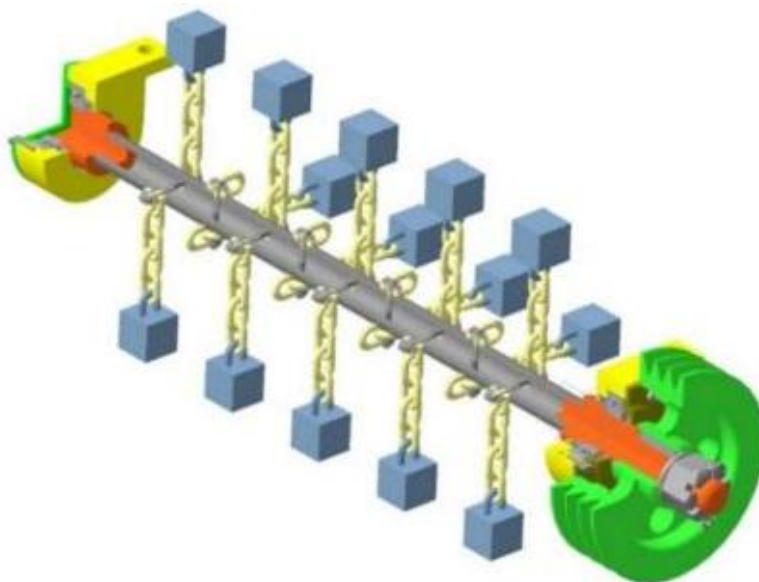


Рисунок 2. Схема рабочего органа льдоскалывателя с кубическими бойками

Теоретические исследования. Минимальные энергозатраты на разрушение 1 м³ снежно-ледяных или ледяных покрытий дорожного основания являются важнейшим показателем эффективности льдоскалывающей техники. Старые принципы, технологии и средства очистки дорог от снежно-ледяного наката оказались в большей части малоэффективными и неспособными снизить эти затраты [11]. Для разрушения льда требуется применять новые подходы к воздействию на разрушаемый материал, оставляющие при этом в целостности несущий слой автомобильных дорог. Данная статья представляет разработку льдоскалывающего оборудования, генерирующего сложное режуще-скалывающее воздействие на разрушаемый слой ледяного наката на автодорогах и тротуарах [11-15]. Суть работы нового рабочего органа заключается в сложном колебании рабочей, скалывающей части льдоскалывателя в вертикальной и горизонтально-поступательной плоскостях, с возможностью одновременного возвратно-поступательного колебания поперек движения машины, с симметричным отклонением от оси движения льдоскалывателя. Дополнительно к этим движениям и колебаниям рабочего органа добавляется возможность изменения длины рабочего органа в такт собственным колебаниям. В разработанной конструкции льдоскалывателя нагрузки действуют вертикально, но имеют возможность последующего горизонтального смещения скалывающей части упругого рабочего органа.

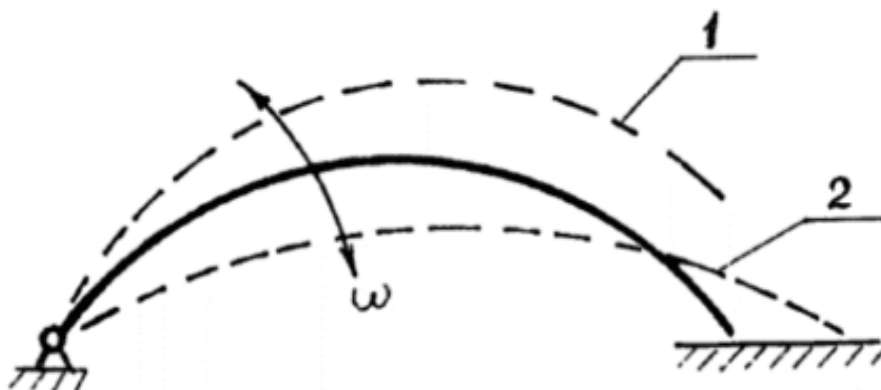


Рисунок 3. Принцип работы упругого рабочего органа льдоскалывателя скалывающе-режущего действия: крайние положения упругого элемента под действием возмущающей силы; 1 – верхнее положение; 2 – нижнее деформированное положение

Это достигается путем одновременной деформации упругой криволинейной рессоры, являющейся упругим телом рабочего органа, вниз и вперед, как показано на рис. 3, а затем циклически наоборот – вверх и назад. Криволинейный брус-рессора одним концом шарнирно закреплен на корпусе мотоблока, второй конец, оснащенный скалывающе-режущим элементом (кромкой), остается свободным (рис. 4). Колебания рессоры задает вибровозбудитель, смонтированный на самой рессоре, с заранее просчитанными характеристиками, обеспечивающими функционирование данной конструкции льдоскалывателя.

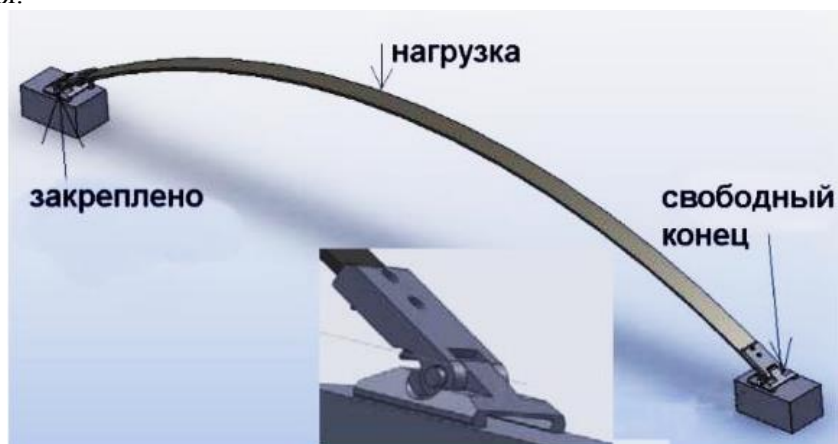


Рисунок 4. Лабораторная схема деформации единичной рессоры: во вставке показан увеличенный свободный конец упругой рессоры

Расчёт параметров деформации упругого бруса-рессоры. Как видно из рис. 5 при деформации рабочего органа происходит изгиб, характеризующийся тем, что при нём происходит изменение кривизны оси. При этом изгибающий момент и поперечная сила отличны от нуля, а остальные усилия по всей длине равны нулю, то есть поперечный

изгиб.

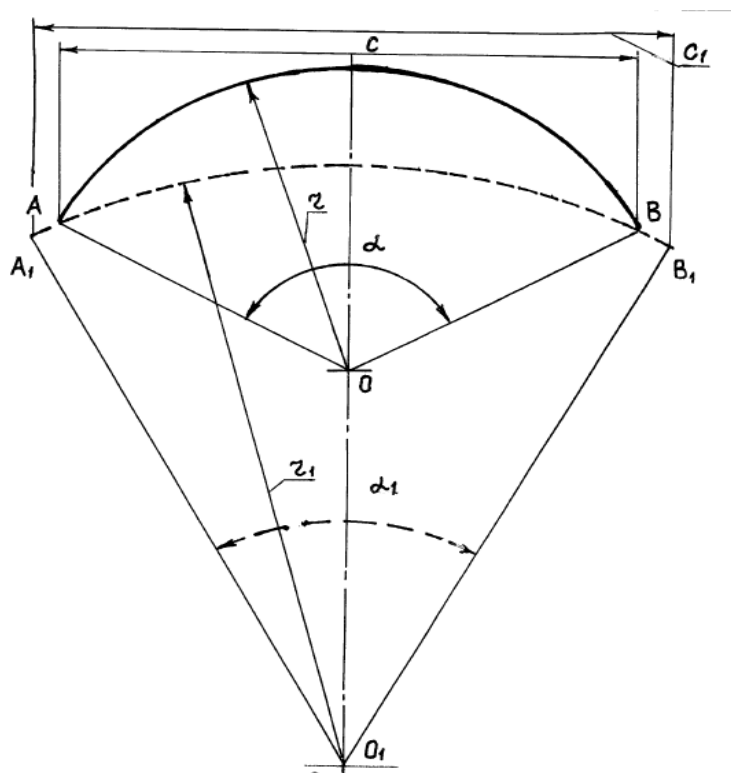


Рисунок 5. Схема деформации рессоры при $\ell = \text{const}$

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).

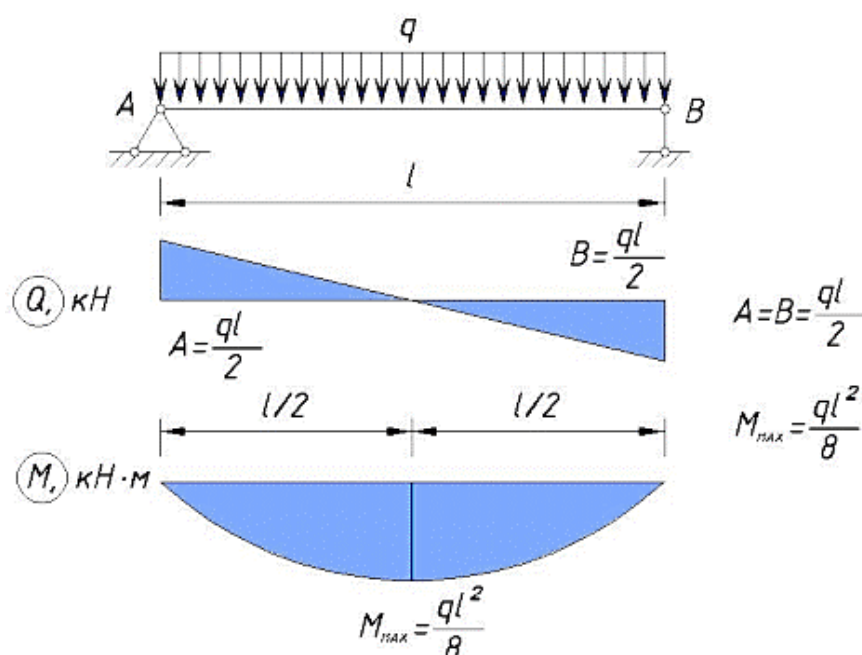


Рисунок 6. Расчётная схема упругой балки льдоскалывателя

$$f_c = \frac{12ql^2}{48bs^3E} + \frac{5Gl^3}{384bs^3E},$$

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

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

Применим изменение нагрузки от 1кГ 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.

Экспериментальные исследования. Для экспериментальных лабораторных исследований была собрана установка, включающая как саму упругую балку-рессору, так и прибо-

ры фиксации перемещений и приложения инерционной нагрузки. Один конец рессоры был шарнирно закреплен 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. Таким образом, 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.

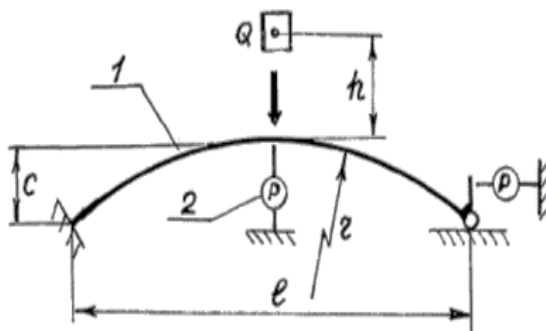


Рисунок 7. Схема измерения деформации упругой рессоры

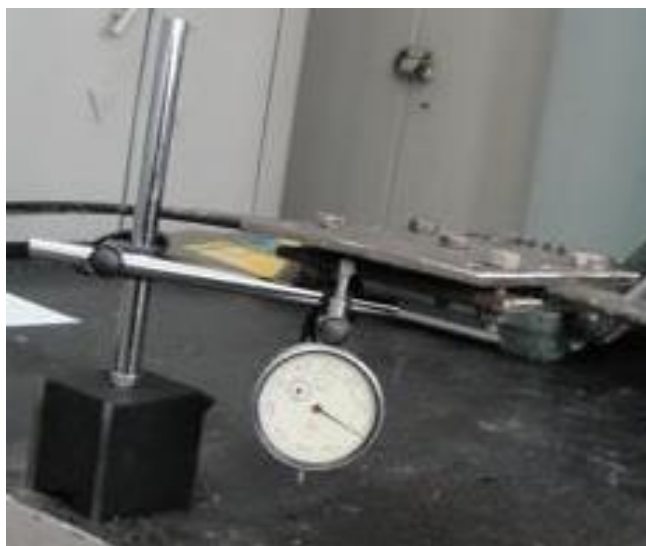


Рисунок 8. Измерение вертикальной деформации

Для проведения стендовых динамических испытаний рабочего органа льдоскалывателя разработана лабораторная установка (рис. 9).



Рисунок 9. Стенд для динамических испытаний: а – вид спереди; б – вид сзади

Зависимость связывает нагрузку и деформацию 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.

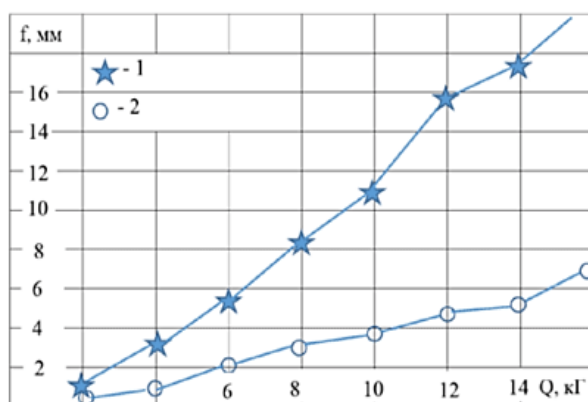


Рисунок 10. График замеров упругой деформации рессоры:
1 – вертикальное перемещение; 2 – горизонтальное перемещение

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 СЛО

По приведенным выше результатам исследований 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

Закключение. 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 или 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.

Список литературы

1. Гусьев Л.М. Борьба со скользкостью городских дорог. – М.: Стройиздат, 1994. – 29 с.
2. Баловнев В.И. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: Уч. пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины» / В.И. Баловнев, М.А. Беляев и др.; Под общ. ред. В.И. Баловнева. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.-Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.
3. Blackburn R.J. Physical alternatives to chemicals for Highway Deicing. - Transp. Rea. Board Spec. Rept., 2009, N185.
4. Mouat T.W., Saunders R.L. Detachment of Ice from Surfaces by Application of High Intensity Light. - Transp. Res. Board Spec. Rept., 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: Тр. Хабар. гос. техн. ун-та. – Хабаровск : Хабар. гос. техн. ун-т, 1998. – С. 175-181.
6. Богородский В.В. Разрушение льда: методы и средства / В.В. Богородский, В.П. Гаврило, О.А. Недошивин. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003.
7. Способ разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях: пат. Республики Казахстан на изобретение. – № 31910, бюл. № 5 от 15.03.2017 г.
8. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Вавилов А.В., Ким А.И. А.И. Начальные экспериментальные исследования процесса разрушения ударом льда на твердом покрытии дорог // ВЕСТНИК ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2018. – № 2. – С. 99-107.
9. Дудкин М.В., Ким А.И., Mlynczak M., Гурьянов Г.А., Дудкина Е.Л. Натурные экспериментальные исследования по проекту ar05130653 и корректировка конструкции опытного промышленного образца льдоскалывателя для зимнего содержания дорог и тротуаров // ВЕСТНИК ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2020. – № 2. – С. 114-120.

10. M. Doudkin, A. Kim, G. Guryanov, M. Mlynczak, M. Eleukenov, A. Bugaev, V. Rogovsky. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads // JMERD. – Vol.42. – No. 4 (2019). – Pages: 01-08. – <https://jmerd.org.my/jmerd-04-2019-01-08/>
11. B. O. Bostanov, E. S. Temirbekov, M. V. Dudkin, and A. I. Kim. Mechanics-Mathematical Model of Conjugation of a Part of a Trajectory with Conditions of Continuity, Touch and Smoothness // Communications in computer and information science. – Vol. 998. – 2019. – p. 71-81.
12. Alina Kim, Mikhail Doudkin, Alexandr Ermilov, Gennadiy Kustarev, Murat Sakimov, Marek Mlynczak. Analysis of vibroexciters working process of the improved efficiency for ice breaking, construction and road machines // Journal of vibroengineering. – 2020. – Vol. 22. – issue 3. – pp. 465-485.
13. Doudkin, M., Kim, A., Mlynczak, M., Kustarev, G., Kim, V. Development and parameter justification of vibroscreen feed elements // Mining Machines and Earth-Moving Equipment: Problems of Design, Research and Maintenance. – pp. 203-226.
14. S.Yu. Pichugin, S.N. Fadeev. Studying the Machines for Road Maintenance // Life Science Journal. – 2013. – 10(12s). – pp. 134-138. doi:10.7537/marslsj1012s13.24

References

1. Gus'ev L.M. Bor'ba so skol'zkost'yu gorodskih dorog. – M.: Strojizdat, 1994. – 29 s.
2. Balovnev V.I. Mashiny dlya sodержaniya i remonta gorodskih i avtomobil'nyh dorog: Uch. posobie dlya vuzov po discipline «Dorozhnye mashiny» / V.I. Balovnev, M.A. Belyaev i dr.; Pod obshch. red. V.I. Balovneva. – 2-e izd., dop. i pererab. – M.-Omsk: OAO «Omskij dom pečati», 2005. – 768 s.
3. Blackburn R.J. Physical alternatives to chemicals for Highway Deicing. – Transr. Rea. Board Spec. Rept., 2009, N185.
4. Mouat T.W., Saunders R.L. Detachment of Ice from Surfaces by Application of High Intensity Light. – Transp. Res. Board Spec. Rept., 2009, N185.
5. Voskresenskij G.G. Sozdanie i issledovanie kompleksa mashin dlya ochistki pokrytij avtomobil'nyh dorog ot uplotnyonnogo snega i l'da // Nauchnoe obespechenie tekhnicheskogo i social'nogo razvitiya Dal'nevostochnogo regiona: Tr. Habar. gos. tekhn. un-ta. – Habarovsk : Habar. gos. tekhn. un-t, 1998. – S. 175-181.
6. Bogorodskij V.V. Razrushenie l'da: metody i sredstva / V.V. Bogorodskij, V.P. Gavrilov, O.A. Nedoshivin. – SPb.: Gidrometeoizdat, 2003.
7. Sposob razrusheniya snezhno-ledyanyh obrazovaniy na dorozhnyh pokrytiyah: pat. Respubliki Kazahstan na izobretenie. – № 31910, byul. № 5 ot 15.03.2017 g.
8. Gur'yanov G.A., Dudkin M.V., Vavilov A.V., Kim A.I. Nachal'nye eksperimental'nye issledovaniya processa razrusheniya udarom l'da na tverdom pokrytii dorog // VESTNIK VKGTU im. D. Serikbaeva. – 2018. – № 2. – S. 99-107.
9. Dudkin M.V., Kim A.I., Mlynczak M., Gur'yanov G.A., Dudkina E.L. Naturnye eksperimental'nye issledovaniya po proektu ap05130653 i korrekcirovka konstrukcii opytnogo promyshlennogo obrazca l'doskalyvatel'ya dlya zimnego sodержaniya dorog i trotuarov // VESTNIK VKGTU im. D. Serikbaeva. – 2020. – № 2. – S. 114-120.
10. M. Doudkin, A. Kim, G. Guryanov, M. Mlynczak, M. Eleukenov, A. Bugaev, V. Rogovsky. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads // JMERD. – Vol.42. – No. 4 (2019). – Pages: 01-08. – <https://jmerd.org.my/jmerd-04-2019-01-08/>
11. B.O. Bostanov, E.S. Temirbekov, M.V. Dudkin, and A.I. Kim. Mechanics-Mathematical Model of Conjugation of a Part of a Trajectory with Conditions of Continuity, Touch and Smoothness // Communications in computer and information science. – Vol. 998. – 2019. – p. 71-81.
12. Alina Kim, Mikhail Doudkin, Alexandr Ermilov, Gennadiy Kustarev, Murat Sakimov, Marek Mlynczak. Analysis of vibroexciters working process of the improved efficiency for ice breaking, construction and road machines // Journal of vibroengineering. - 2020. - Vol. 22. - issue 3. – pp. 465-485.
13. Doudkin, M., Kim, A., Mlynczak, M., Kustarev, G., Kim, V. Development and parameter justification of vibroscreen feed elements // Mining Machines and Earth-Moving Equipment: Problems of Design, Research and Maintenance. – pp. 203-226.
14. S.Yu. Pichugin, S.N. Fadeev. Studying the Machines for Road Maintenance // Life Science Journal. – 2013. – 10(12s). – pp. 134-138. doi:10.7537/marslsj1012s13.24