

consuming technology, so the question of reducing the costs of its production appeared. It is indicated that during milling molding, substantial loads act on the knives of the working body of the milling unit during extrusion and cause their deformation and then destruction, as a result of which the power consumption for molding increases, and thus the productivity and reliability of the unit are reduced. Specific work and required power for milling and molding are calculated, as well as the minimum tractor power required to perform the operation of milling and molding is determined. It is stated that in order to improve the technical and economic characteristics of the lump peat peat extraction site, the complex evaluation indicator was used, which allowed to select low-power equipment, thereby reducing operating and capital costs and increasing the profitability and reliability of production.

*Keywords:* lumpy peat, peat deposit, extraction, energy consumption, milling, profitability.

Поступила в редакцию/received: 16.09.2024; после рецензирования/revised: 25.09.2024;  
принята/accepted: 02.10.2024

УДК 622.232

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Ю.Н. ПАВЛОВ, канд. техн. наук, А.В. КОНДРАТЬЕВ, д-р техн. наук,  
С.М. КОЧКАНЯН, канд. техн. наук, Д.Г. МАСЛЕННИКОВ, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет  
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: pavlov237@yandex.ru

© Павлов Ю.Н., Кондратьев А.В., Кочкян С.М.,  
Масленников Д.Г., 2024

Представлен обзор научных исследований и опытно-конструкторских работ, выполненных на кафедре строительных, дорожных машин и оборудования Тверского государственного технического университета для механизации дорожного строительства. Выбраны разработки, которые остаются перспективными и по которым продолжаются исследования. Отмечено, что для большинства из них проведена работа от постановки задачи до создания и испытания экспериментального образца, при этом в ходе данной работы появились новые идеи совершенствования технологий и конструкций. Приведены описания и некоторые результаты исследований или испытаний оборудования для нанесения дорожной разметки, срезки кустов и мелких деревьев в полосе отвода автомобильных дорог, проведения ямочного ремонта, приготовления сухой асфальтобетонной смеси и вибрационного уплотнения грунтов.

*Ключевые слова:* дорожная разметка, полоса отвода автомобильных дорог, срезка кустов и мелких деревьев, сухая асфальтобетонная смесь, ямочный ремонт, вибровозбудитель, грунтоуплотняющая машина.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2024-4-45-51**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Кафедрой строительных, дорожных машин и оборудования (СДМО) выполнен значительный объем работ для решения прикладных и перспективных задач механизации дорожного строительства. Некоторые научные исследования и

обоснования новых конструкций машин были проведены еще в советское время, но при этом полученные результаты и предложения по внедрению новых технологий и конструкций дорожных машин актуальны и сегодня. Другая часть исследований относится к области изучения современных проблем дорожного строительства и разработке конструкций специализированных дорожных машин на перспективу. В данной статье приводится обзор ряда научных работ, выполненных для дорожного строительства. Цель публикации – ознакомить читателей с проведенными исследованиями, разработанными конструкциями машин и оборудования и предложенными технологиями.

### **ТЕМЫ РАБОТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Одной из первых работ, выполненных по заданию дорожно-строительной организации, стала разработка конструкции передвижной платформы для разгрузки бортовых автомобилей с прицепом. Нехватка автосамосвалов для растущих объемов перевозки щебня, гравия, песка и других сыпучих дорожно-строительных материалов на значительные расстояния определила актуальность этой работы в 1980-х годах. На сегодняшний день подход к обеспечению объектов строительства транспортом изменился, но конструктивные решения, предложенные при проектировании данной платформы, могут использоваться в конструкциях современного оборудования в дорожном строительстве. В качестве примера можно указать привод механизмов от колес автомобиля [1].

В 1980-х годах машин для дорожной разметки термопластиком не хватало, оборудование и материал для них были дорогими. Разметка большей части городских улиц и дорог осуществлялась краской. Линии разметки очень быстро стирались, и на участках интенсивного движения каждые два-три месяца приходилось возобновлять ее. Кафедра СДМО под руководством Арнольда Борисовича Мясникова решила предложить способ увеличения срока службы линий разметки и провести модернизацию имеющегося оборудования. В результате работы были рекомендованы дополнения в технологию нанесения линий разметки и вариант модернизации маркировочной машины. С целью увеличения срока службы разметки поверхность асфальтобетонного покрытия в зоне нанесения краски предварительно разогревалась и профилировалась катящимся вальцом. Прижимаемый к опорной поверхности валец создавал по ширине линий разметки волнистый профиль с плавно переходящими друг в друга выступами и впадинами. В период эксплуатации разметки краска стирается на выступах и сохраняется во впадинах, линии разметки хорошо различимы на протяжении длительного периода. Для проведения исследований и создания экспериментального образца дорожники передали кафедре маркировочную машину ДЭ-3Б и самоходное шасси Т-16М. В рамках модернизации маркировочной машины была разработана навеска вальца и разогревателя, а также оптимизирован профиль вальца. Линейный разогреватель спроектирован на основе газовых горелок с керамическими инфракрасными излучателями, для его работы выполнены система подвода газа к горелкам и рама крепления двух баллонов со сжиженным газом на базовом шасси. Изготовленный экспериментальный образец разметочной машины прошел испытание при нанесении участка горизонтальной разметки на улице Орджоникидзе у площади Терешковой. Было отмечено, что выполненная новым оборудованием разметка прослужила в два раза дольше.

Традиционно высокий процент работ, выполняемых вручную, сохраняется при очистке полосы отвода автомобильных дорог от древесной растительности. Современные мощные мульчеры и навешенные на экскаватор измельчители кустарника и мелких деревьев с подачей рабочего органа сверху вниз слишком энергозатратны и

используются в ограниченных случаях [2]. В связи с этим кафедра продолжает работы по совершенствованию рабочего оборудования для срезки кустов и мелких деревьев в полосе отвода автодорог. Изначально за прототип рабочего органа была выбрана сельскохозяйственная косилка с возвратно-поступательным движением режущих элементов, рабочий процесс которой изучен в достаточной степени [3]. Поскольку сопротивление срезу мелких деревьев многократно превышает сопротивление срезу травы, для создания необходимого усилия был взят гидроцилиндр, при этом сам рабочий орган выполнен из двух гребенок: подвижной и неподвижной. С целью создания экспериментального образца предварительно изготовили элементы профиля гребенки (по два зуба) с выбранными параметрами и лабораторную установку, включающую раму, гидроцилиндр, устройство закрепления элементов подвижной и неподвижной гребенок. Неподвижный режущий элемент и корпус гидроцилиндра закреплены на раме, подвижный элемент гребенки соединен со штоком гидроцилиндра и прижат направляющим устройством к неподвижному. Гидроцилиндр подключен к маслостанции, а давление в его рабочей полости показывает образцовый манометр. Проведенные лабораторные исследования позволили определить усилия перерезания (с учетом частичного смятия) одним зубом подвижной гребенки древесных прутков разных пород, диаметров и влажности. Появилась возможность моделировать вероятные нагрузки для гребенок с различным числом зубьев и длиной. Для экспериментального образца с шириной захвата 1,4 м и максимальным диаметром срезаемых деревьев 60 мм изготовлены гребенки с девятью режущими зубьями с шагом 160 мм из листовой стали толщиной 30 мм. Высота профиля зуба – 215 мм, снижение составляющей смятия достигалось фрезеровкой кромки режущих зубьев под углом 60°, а исключение поломки рабочего органа в случае попадания в зону резания стального проката и прочих «неперерезаемых» предметов обеспечивается регулировкой предохранительного клапана гидросистемы и элементами навески на базовую машину. Экспериментальный образец испытали, закрепив на раме бульдозерного оборудования трактора ДТ-75Б [4]. В ходе испытаний была подтверждена работоспособность оборудования, а также выявлены недостатки, которые следует устранить при его совершенствовании. Реальные условия работы в полосе отвода из-за неровности не дают увеличить ширину захвата, удлиняя гребенку (линия среза кустарника и деревьев будет проходить слишком высоко). Для получения заданной высоты среза при значительной ширине захвата гребенку рабочего органа следует собирать из отдельных подвижных секций, каждая из которых независимо копирует профиль опорной поверхности. Базовая машина должна иметь гидросистему с возможностью отбора значительной мощности на навесное оборудование для увеличения частоты возвратно-поступательного движения режущих элементов, что позволит увеличить скорость передвижения и производительность.

Разработка новой технологии производства и использования асфальтобетонных смесей для круглогодичного ремонта дорожных покрытий стала на кафедре самой объемной из тематики для дорожного строительства по количеству проведенных исследований и внесенных предложений с целью совершенствования технологий и модернизации оборудования. Работа началась в 1980-е годы с предложения заранее готовить материал для зимнего ямочного ремонта небольшими порциями (на один замес небольшого смесителя-разогревателя), расфасовывая его в пакеты и строго соблюдая состав асфальтобетонных смесей. Проблема возникла с дозировкой дорожного битума, который даже при добавлении в холодную смесь в виде мелких гранул выгорал во время разогрева. Монтировать на ремонтной машине систему разогрева и распыления битума в конце нагрева каменных материалов нерационально. Решение нашлось в совместной дозировке битума и щебня: порция нагретого битума

распылялась на поверхность отдозированного холодного щебня и застывала на ней. Было проведено значительное количество лабораторных экспериментов по распылению битума на щебень, смешиванию с другими компонентами, хранению в морозильной камере и разогреву смеси. Адгезия битума на поверхности крупной фракции каменного материала позволила ему не отрываться при хранении и перемещении, не выгорать при нагреве, а при переходе в жидкое состояние агрегироваться с другими фракциями смеси во время перемешивания. Технология изготовления сухой асфальтобетонной смеси (САБС), пригодной к длительному хранению и перевозке на любые расстояния, способствовала развитию технологии подготовки смеси для ямочного ремонта в зимнее время. Суть технологии производства САБС заключается в отсутствии нагрева каменных материалов, они лишь подсушиваются до технологической влажности [5]. Используется стандартное оборудование асфальтобетонного завода (АБЗ), которое транспортирует, дозирует и подает в смеситель компоненты смеси согласно заданной рецептуре [6]. Битум, нагретый до температуры 160 °С, разбрызгивается форсунками в процессе перемешивания и застывает на поверхности каменных материалов. На выходе из смесителя имеем сыпучую смесь, способную после разогрева на месте укладки соответствовать всем требованиям к горячему асфальтобетону. Описанная технология позволила заготавливать значительные объемы САБС, но в этих объемах проявилось заметное расслоение смеси при длительном хранении. Для предотвращения расслоения и сохранения качественных характеристик САБС при хранении предложено в технологический процесс ввести брикетирование САБС, разработана конструкция пресса, исследованы и оптимизированы его основные параметры [7]. Кроме ранее разработанной технологии использования САБС при зимнем ямочном ремонте с проектированием смесителя-разогревателя, проработаны варианты технологий ее использования весной и летом с расчетом экономической целесообразности. Наряду с работой по совершенствованию технологии приготовления САБС, на перспективу рассматривается технология сушки и обогащения песка (удаления примесей глины) для производства асфальтобетонных и цементобетонных смесей. Выполнена эскизная проработка оборудования для реализации данной технологии. Во время изучения процессов использования стандартного оборудования АБЗ при производстве САБС была разработана конструкция ячеистого бункера для сыпучих материалов, устраняющая расслоение, а для снижения выброса в окружающую среду мелкодисперсной пыли при работе АБЗ – предложена система очистки на основе циклонов со встречными закрученными потоками.

Работы по созданию для грунтоуплотняющих машин новой конструкции гидравлического вибровозбудителя, способного работать в широком диапазоне частот, начались под руководством А.Б. Мясникова еще в 1980 году, когда была предложена модель поршневого типа с отверстиями в корпусе и распределительном кольце, которое надето на цилиндрический корпус и может вращаться. Поршень, соединенный со штоком, делит пространство внутри корпуса на две полости: верхнюю и нижнюю. Рабочая жидкость под давлением подается в обе полости. При вращении распределительного кольца и совпадении отверстий рабочая жидкость сливается то из верхней, то из нижней полости поочередно, а поршень совершает колебательные движения [8, 9]. Такая конструкция позволила получить вибрацию на штоке, который жестко соединялся с поршнем, с частотой более 100 Гц. На основе опыта проектирования подобных конструкций [10, 11] разработаны и изготовлены четыре вибровозбудителя, различающиеся схемой подвода рабочей жидкости, формой отверстий в корпусе и кольце и приводом вращения распределительного кольца. Рабочей жидкостью являлась вода. Привод вращения распределительного кольца,

задающий частоту колебаний, у двух конструкций был в виде струйной турбины, а у двух других осуществлялся от гидромотора через зубчатую передачу. Для сравнительных испытаний вибровозбудителей, работающих на воде, был спроектирован и изготовлен стенд с водяным баком, насосным агрегатом и установочной площадкой для оборудования. Привод гидромотора выполнялся от лабораторной маслостанции. При испытаниях параметры вибрации фиксировали с использованием комплекта виброизмерительной аппаратуры ВИ-6ТН. Все образцы показали свою работоспособность. Было отмечено, что на моделях с приводом от гидромотора легче регулировать параметры вибрации, изменяя частоту вращения распределительного кольца путем дросселирования подачи рабочей жидкости в гидромотор. После стендовых испытаний вибровозбудитель, имевший наибольший диапазон регулирования частоты колебаний, соединен с опорной плитой и опробован при уплотнении грунта (работы проводились в лабораторном грунтовом канале). Получены экспериментальные данные по осадке грунта под плитой при различных режимах уплотнения, задаваемых частотой и амплитудой колебаний. Результаты лабораторных исследований позволили оптимизировать параметры вибровозбудителя и перейти к натурным испытаниям на грунтовых площадках. Выбирается компоновка и выполняется рабочая документация для изготовления прицепной грунтоуплотняющей машины с рабочим органом в виде вальца. В сцепке с колесным трактором изготовленный образец испытан при различных режимах уплотнения и на разных грунтах. В рамках дальнейшего развития конструкций грунтоуплотняющих машин с гидравлическим вибровозбудителем создан вариант прицепной машины с площадочным рабочим органом, способный работать в трамбующем режиме. Для этой машины изготовлен вибровозбудитель с низкой частотой и значительной амплитудой колебаний, а в качестве рабочей жидкости для него использовали минеральное масло. В сцепке с гусеничным трактором тягового класса 10 т изготовленный экспериментальный образец прошел цикл испытаний и показал хорошие результаты уплотнения грунтов [12]. На основе накопленного опыта проектирования и полученных экспериментальных данных сегодня имеется ряд предложений по новым конструктивным схемам уплотняющих машин.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Приведенный обзор показывает объем выполненных работ по четырем направлениям: по дорожной разметке, очистке полосы отвода дорог от кустарника и мелких деревьев, производству и использованию САБС, новым конструкциям уплотняющих машин с гидравлическим вибровозбудителем. Предложенные решения по каждому из направлений не утратили актуальности, ведение работ на новом этапе позволит создать перспективные образцы техники для дорожного строительства. Невозможно разрабатывать прорывные технологии и машины для их реализации без развития научных исследований и опытно-конструкторских работ, и кафедра СДМО продолжает, работу по решению задач механизации дорожного строительства.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Устройство для разгрузки автопоездов*: а. с. 1178670 СССР. № 3419347/27-11 / Мясников А.Б., Савкин А.В. Заявл. 06.04.1982. Опубл. 15.09.1985. Бюл. № 34.
2. Казаков А.Л., Мажугин Е.И. Машины для расчистки земель от древесно-кустарниковой растительности. Горки: БГСХА. 2014. 32 с.
3. *Сельскохозяйственные и мелиоративные машины* / Г.Е. Листопад [и др.]; под общ. ред. Г.Е. Листопада. М.: Агропромиздат. 1986. 688 с.

4. Масленников Д.Г., Павлов Ю.Н., Кочкян С.М., Кондратьев А.В. Экспериментальное оборудование для срезки древесной растительности в полосе отвода автомобильных дорог // *Образование в пространстве культуры: Сборник научных трудов*. Тверь: ТвГТУ. 2019. С. 116–120.

5. Масленников Д.Г., Павлов Ю.Н., Кочкян С.М., Кондратьев А.В. Особенности производства и использования сухой асфальтобетонной смеси // *Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: Межвузовский сборник научных трудов*. Вып. 11. Тверь: ТвГТУ. 2018. С. 138–142.

6. Производство асфальтобетонных смесей и битумных эмульсий: учебно-справочное пособие / под общ. ред. В.В. Силкина, А.П. Лупанова. М.: АСВ. 2021. 368 с.

7. Масленников Д.Г., Кондратьев А.В., Павлов Ю.Н. Исследование прочностных характеристик брикетов из сухой асфальтобетонной смеси // *Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: Межвузовский сборник научных трудов*. Вып. 7. Тверь: ТвГТУ. 2014. С. 103–106.

8. *Вибровозбудитель*: а. с. 999330 СССР. № 3253799/18-28 / Мясников А.Б., Мошков А.Г. Заявл. 20.02.1981. Опубл. 23.01.1983. Бюл. № 3.

9. *Вибровозбудитель*: а. с. 1202631 СССР. № 3744973/24-28 / Мясников А.Б., Павлов Ю.Н., Мясников Б.А. Заявл. 28.05.1984. Опубл. 07.01.1986. Бюл. № 1.

10. Варсановьев В.Д., Кузнецов О.В. Гидравлические вибраторы. Л.: Машиностроение. 1979. 144 с.

11. Баранов В.Н., Захаров Ю.Е. Электрогидравлические и гидравлические вибрационные механизмы (теория, расчет и конструкции). М.: Машиностроение. 1977. 325 с.

12. Павлов Ю.Н., Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Масленников Д.Г. Грунтоуплотняющая машина с гидравлическим вибровозбудителем // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2019. № 3 (3). С. 56–63.

**Для цитирования:** Павлов Ю.Н., Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Масленников Д.Г. Перспективные разработки для дорожного строительства // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2024. № 4 (24). С. 45–51.

## PROSPECTIVE DEVELOPMENTS FOR ROAD CONSTRUCTION

Yu.N. PAVLOV, Cand. Sc. A.V. KONDRATYEV, Dr. Sc.,  
S.M. KOCHKANYAN, Cand. Sc., D.G. MASLENNIKOV, Cand. Sc.

Tver State Technical University  
22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver, e-mail: pavlov237@yandex.ru

The paper presents an overview of research and development work carried out at the Department of Construction, Road Machinery and Equipment of Tver State Technical University for the mechanization of road construction. The developments that remain promising and for which research is still in progress are selected. It is noted that for the majority of them the work from problem statement to creation and testing of experimental sample has been carried out, and in the course of this work new ideas for improvement of technologies and constructions have appeared. Descriptions and some results of studies or

*Вестник Тверского государственного технического университета.  
Серия «Технические науки». № 4 (24), 2024*

tests of equipment for road marking, cutting bushes and small trees in the highway right-of-way, patching, preparation of dry asphalt concrete mixes and vibratory compaction of soils are given.

*Keywords:* road markings, right-of-way of highways, cutting of bushes and small trees, dry asphalt concrete mix, pit (pothole) repair, vibration exciter, soil compacting machine.

Поступила в редакцию/received: 01.10.2024; после рецензирования/revised: 08.10.2024; принята/accepted: 14.10.2024

УДК 622.23.05

## **ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГОРНЫХ МАШИН**

В.У. МНАЦАКАНЯН<sup>1</sup>, д-р техн. наук, С.Х. НГУЕН<sup>1</sup>, асп.,  
В.Н. НГО<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Университет науки и технологий МИСИС,  
119049, Москва, Ленинский пр., 4, стр. 1, e-mail: artvik@bk.ru

<sup>2</sup> Университет Ту Дау Мот,  
Вьетнам, г. Ту Дау Мот, ул. Тран Ван Он, 6, e-mail: nguyennv@tdmu.edu.vn

© Мнацаканян В.У., Нгуен С.Х., Нго В.Н., 2024

Представлены результаты экспериментальных исследований коррозионной стойкости стальных образцов, покрытых антикоррозионными составами, в 3,4%-м растворе хлорида натрия. Установлено, что металлокерамические покрытия на основе композитов  $Zn + Al_2O_3$  и  $Al + Zn + Al_2O_3$ , сформированные холодным газодинамическим напылением, существенно повышают сопротивляемость коррозии в морской воде у сварных соединений из стали, а также монолитных стальных образцов.

*Ключевые слова:* электрохимическая коррозия, сварные соединения, скорость коррозии, морская вода, холодное газодинамическое напыление, защитные покрытия, коэффициент анодной защиты.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2024-4-51-58**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Потери от коррозии и износа в горнодобывающей промышленности Вьетнама, где добыча твердых полезных ископаемых ведется как на суше, так и в прибрежных районах Южно-Китайского моря, имеют колоссальные масштабы. Жесткие условия эксплуатации горных машин, характеризующиеся наличием абразивных сред, а также динамических и циклических нагрузок, в тропическом климате страны существенно усугубляются высокой влажностью воздуха и воздействием агрессивной морской среды, что приводит к интенсивной коррозии металлоконструкций и их ускоренному разрушению. Особенно чувствительны к морской атмосфере сварные соединения, широко применяемые при сборке, монтаже и ремонте горных машин, в частности карьерных экскаваторов, составляющих основную часть выемочной техники. Для ремонта несущих и базовых элементов металлоконструкций горных машин применяют технологии сварки и наплавки [1–5].