

УДК 625.765 : 625.76.08

И. В. ШИЛИН, А. В. ХИМЧЕНКО, Ю. Н. СОКОЛОВА

Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЧЕРТАНИЯ РЕМОНТНОЙ КАРТЫ НА ДОРОЖНОМ ПОКРЫТИИ ПОСЛЕ ХОЛОДНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Аннотация. Выполнен анализ применяемой методики подготовки поврежденных участков покрытий автомобильных дорог в процессе их восстановления при выполнении текущего (ямочного) ремонта. Рассмотрены обобщенные вопросы имитационного моделирования процесса холодного фрезерования дорожного покрытия нежесткого типа и приведен алгоритм разработки имитационной модели. Описаны исходные данные и принимаемые ограничения в процессе моделирования, от которых зависит чистота фрезерования деформированной поверхности покрытия. Использование модели совместно с другими математическими методами позволяет на основании принятых критерииов получать форму очертания поверхности отфрезерованной ремонтной карты и объем ремонтной смеси, необходимый для её заполнения. Данная методика является обобщенной и будет совершенствоваться с точки зрения учета конкретных конструкций рабочих органов дорожных фрез и технологических параметров холодного фрезерования. Сформулированы основные отличия в методике определения потребности в дорожно-строительных материалах в зависимости от чистоты фрезерования, при принятых интервалах варьирования установленных факторов. Установлены основные направления дальнейших исследований на основе полученных результатов имитационного моделирования.

Ключевые слова: дорожная фреза, технологическая карта, дорожное покрытие, резец.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В практике дорожного машиностроения [2, 4] в зависимости от конструкции принято различать четыре основных вида рабочих органов – барабанов (роторов) фрез, которые приведены на рис. 1.

Исходя из различий конструкции рабочих органов дорожных фрез можно предположить, что в зависимости от принятого типа барабана, скорости его вращения и скорости подачи самой машины будет меняться форма очертания поверхности выбранного пространства. В связи с этим будет изменяться значение геометрического объема подготовленной ремонтной карты, что существенно будет влиять на потребность в ремонтной смеси для выполнения «ямочного» ремонта [4, 5].

Архивный поиск по публикациям и действующим нормативным документам не показал наличие методик учета такой погрешности при определении потребности в дорожно-строительных материалах. Хотя практически все ведущие производители дорожных фрез указывают на разницу в чистоте выбранного пространства при холодном фрезеровании. Четких данных по колебаниям объемов ремонтной карты нигде не приведено [1, 2, 3, 4, 5].

На практике при выполнении текущего ремонта дорожного покрытия необходимое количество для заполнения подготовленной карты смесью определяется экспериментально-последовательным подбором ее количества в процессе укладки и уплотнения. Это может приводить к существенному перерасходу смеси или недоиспользованию уже подготовленного материала. Проблем можно избежать использованием результатов моделирования для оценки объема выбранного и подготовленного к заполнению пространства. Таким образом создание математической модели формирования выбранного пространства после холодного фрезерования является актуальной задачей [5, 6].

Анализ публикаций и действующих нормативных документов показывает отсутствие необходимой технической информации, которая позволила бы подобрать оптимальные технологические параметры деформированной поверхности.

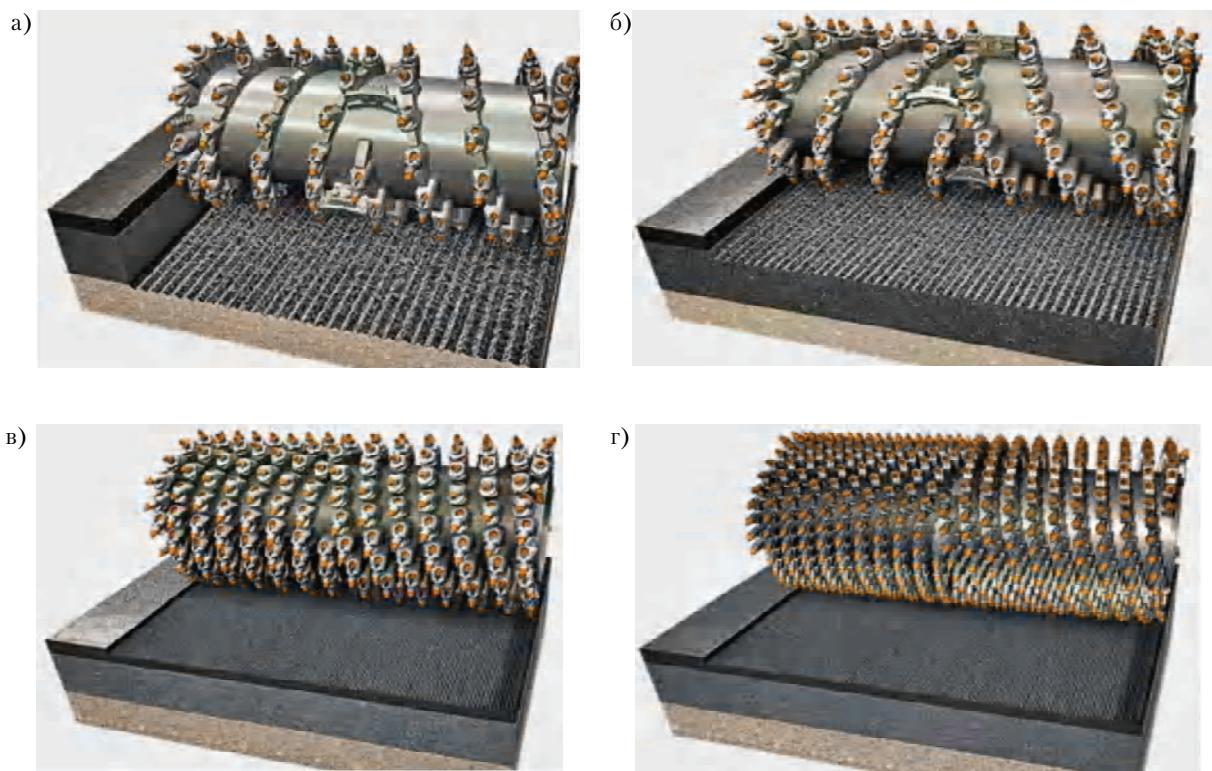


Рисунок 1 – Виды рабочих органов дорожных фрез: а) черновой барабан; б) стандартный барабан; в) чистовой барабан; г) микрофрезерный барабан.

Практически все ведущие производители дорожных фрез предоставляют конструктивную информацию по своей продукции. Особенно хотелось бы отметить наиболее важную, учитывая поставленную задачу:

- диаметр барабана (ротора) фрезы;
- длина барабана (ротора) фрезы – длина обрабатываемой поверхности за 1 проход;
- количество зубьев (резцов);
- интервал изменения скорости вращения барабана (ротора);
- диапазон рабочей скорости движения машины (продольной подачи рабочего органа).

Также в технической информации к дорожным фрезам есть данные по форме и размерам рабочих зубьев (резцов), которые рекомендованы для применения.

В [2] приведена общая принципиальная схема взаимодействия зубьев (резцов) с поверхностью покрытия автомобильной дороги.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью является определение формы и геометрических размеров выбранного пространства после холодного фрезерования в зависимости от технологических параметров рабочего процесса и конструктивных особенностей рабочего органа.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На практике выполнения дорожно-восстановительных работ принято определять объемы ремонтной карты (рис. 2) по следующему алгоритму [4, 5]:

- 1) анализ формы и размеров выбоины (рис. 2а);
- 2) оконтуривание выбоины (с захватом не менее 5 см сверх максимального размера выбоины. Контур должен иметь прямоугольное очертание с обязательным условием, чтобы минимум две грани контура были перпендикулярны оси дороги) (рис. 2б);
- 3) оконтуривание дисковыми фрезами (швонарезчиками);
- 4) выборка внутреннего объема контура роторными фрезами (холодным или горячим методом) или отбойными молотками (рис. 2в).

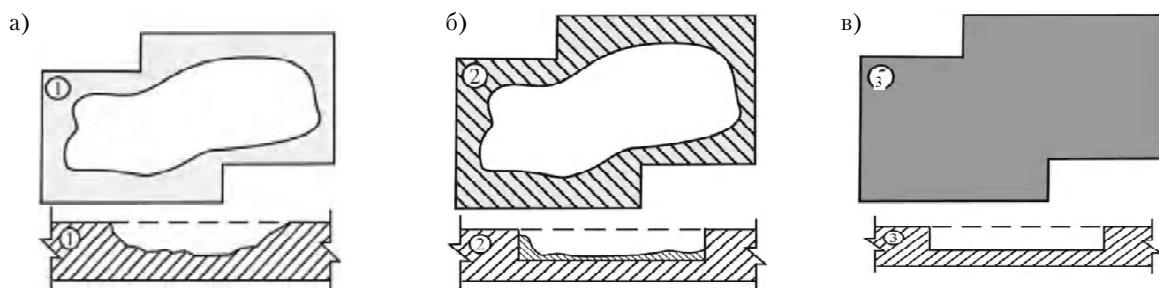


Рисунок 2 – Предварительная обработка ремонтной карты.

Следует отметить, что выполнение третьего пункта позволяет обеспечить вертикальность всех граней отфрезерованной рабочей карты, но значительно усложняет процесс фрезерования. С целью повышения производительности процесса фрезерования и сокращения трудоемкости при выполнении текущего ремонта оконтурирование дисковыми фрезами ремонтной карты зачастую не выполняется. Поэтому грани входа и выхода фрезы из фрезеруемого покрытия имеют скругленное очертание.

Задача выбранного направления статьи не предусматривает оценку влияния скругленных граней подготовленных ремонтных карт на надежность и долговечность отремонтированных поверхностей покрытия. В данном исследовании мы рассматриваем влияние скругленных очертаний граней и других геометрических параметров ремонтной карты на определение потребности в дорожно-строительных материалах (рис. 3). При определении очертания входа и выхода фрезы в покрытие основными критериями является:

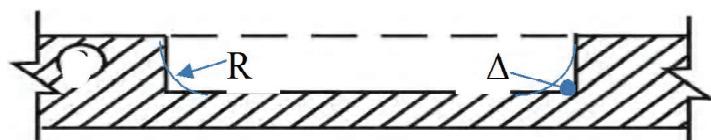


Рисунок 3 – Форма очертания скругленной грани ремонтной карты.

- скорость вращения барабана;
- диаметр барабана, с учетом высоты режущего зуба;
- глубина фрезерования (обычно при текущем ремонте не превышает 5 см).

При определении формы очертания поверхности нижней грани (рис. 4) основными критериями, от которых зависит чистота обработки, являются:

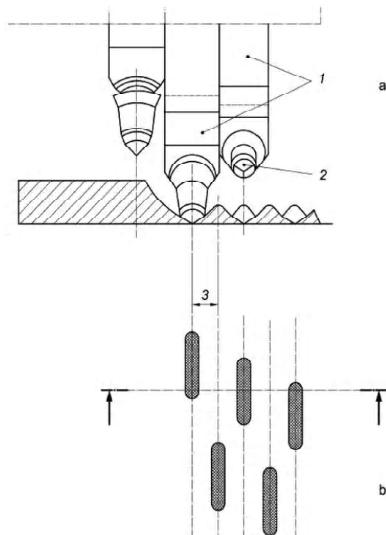


Рисунок 4 – Принципиальная схема фрезерования поверхности покрытия.

- количество резцов;
- пространственное расположение резцов на барабане (в линии по ободу барабана и в ряду по ширине барабана);
- скорость вращения барабана;
- рабочая скорость движения дорожной фрезы.

В процессе фрезерования покрытия не учитывается неоднородность слоя, т. к. холодное фрезерование композитного материала при текущем ремонте не значительно зависит от состава органоминеральной смеси и степени ее структурообразования.

В связи с тем, что выполнять физическую модель с учетом вышеуказанных параметров не представляется возможным, было решено использовать математическую модель, реализованную в среде Matlab 2021b. При определении формы очертания отфрезерованной поверхности определялась траектории точки вершины резца при совместном сочетании поступательного движения с вращательным (рис. 5).

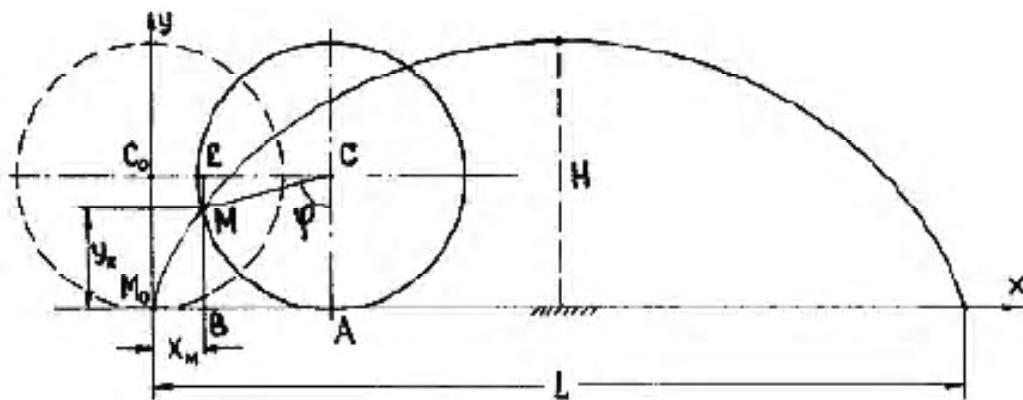


Рисунок 5 – Определение траектории вершины резца.

Математическое описание траектории движения одной точки не составляет труда. Однако получение траекторий n количества зубьев в одном ряду, смещенных друг относительно друга на некоторый угол для переменного количества рядов на барабане фрезы, а также смещенных друг относительно друга на произвольное расстояние и повернутых на некоторый переменный угол, уже не является тривиальной задачей. Она является достаточно трудозатратной и решение будет иметь частный характер.

Для выхода из данной ситуации было решено использовать имитационное моделирование. Применение системы автоматизированного моделирования Simulink с использованием доменов физических сетей, в частности Simscape Multibody, позволило создать модель работы дисковой фрезы с переменным количеством резцов, ширины барабана, количества рядов и смещения рядов относительно друг друга. Модель позволяет моделировать движение барабана и фиксирует на каждом временном шаге положение интересующих точек. Таким образом, в результате появляется массив точек, которые характеризуют положение каждого резца ниже уровня среза асфальта. Последующая математическая обработка методами, не реализованными в Matlab, даёт возможность получить только нижние точки траекторий. Именно эти точки характеризуют форму поверхности, полученную в результате реза.

Пример массива точек, характеризующих форму подготовленной карты при глубине среза до 150 мм с 8 рядами резцов при проходе длиной участка в 2000 миллиметров приведен на рисунке 6.

Получение полной формы покрытия возможно с помощью методов линейной интерполяции. В результате имеем окончательную поверхность отфрезерованного пространства (рис. 7), которое позволяет определить объем выбранного пространства с высокой точностью (рис. 7).

Разработанная имитационная модель холодного фрезерования покрытия автомобильной дороги в среде Simulink Simscape Multibody позволяет задавать следующие критерии и границы их варьирования:

- количество резцов в линии по ободу барабана – от 1 до 10;
- количество рядов по ширине барабана – вычисляется в зависимости от расстояния между рядами и ширины барабана;

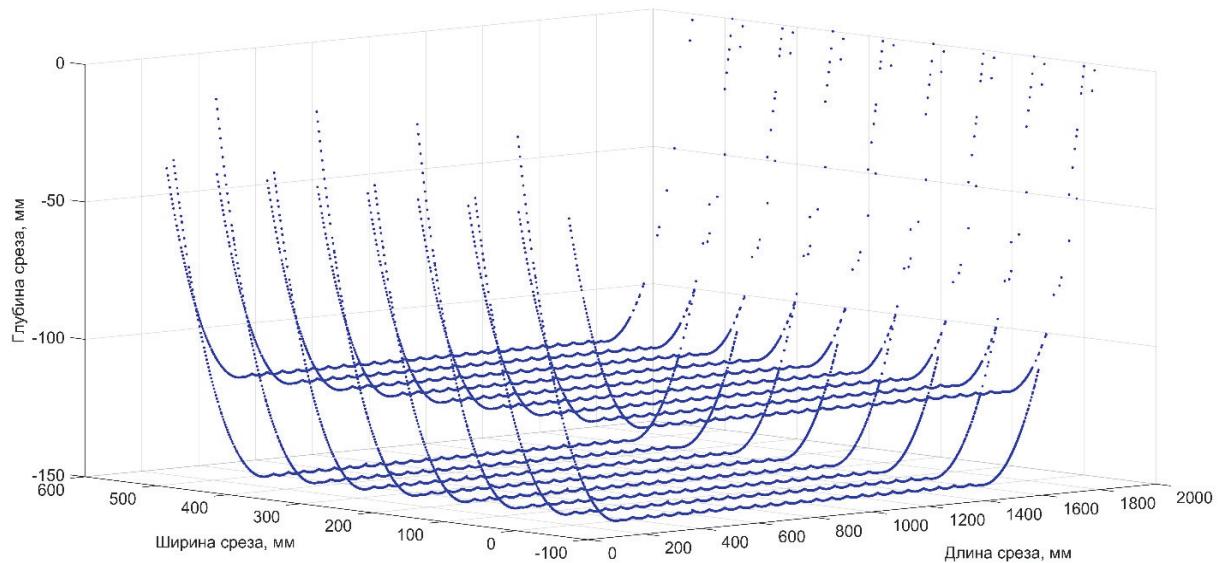


Рисунок 6 – Массив точек, характеризующих форму подготовленной карты.

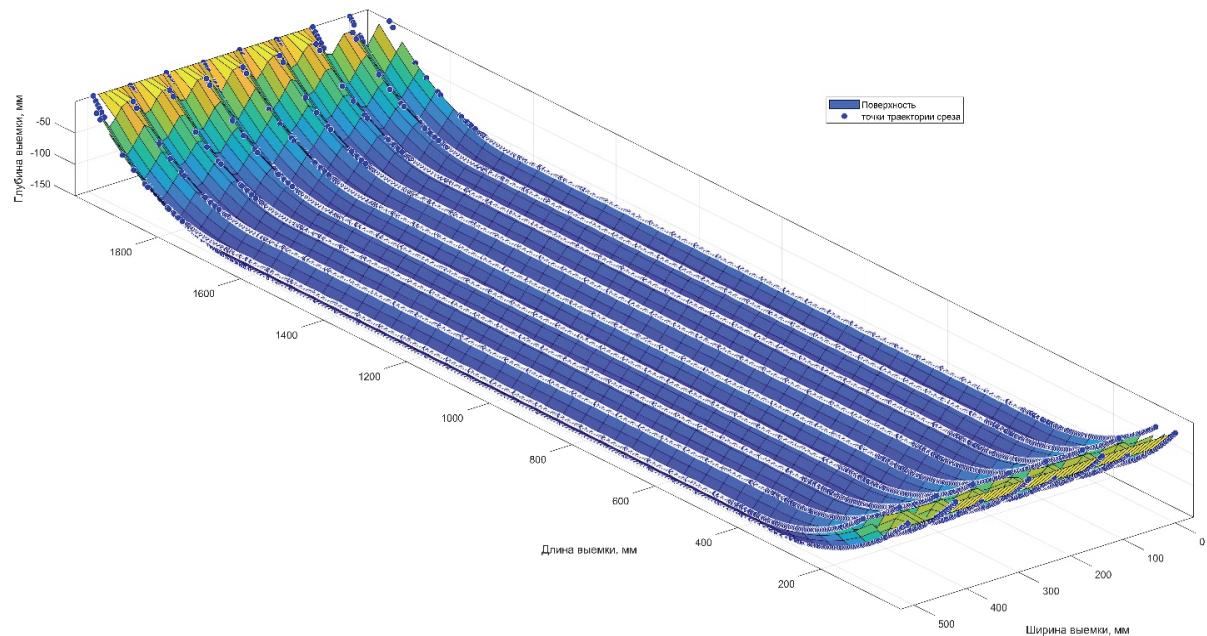


Рисунок 7 – Результат описания поверхности подготовленной технологической карты методами интерполяции.

- скорость вращения барабана – произвольная;
- рабочая скорость движения дорожной фрезы – произвольная;
- глубина фрезерования – произвольная.

Важной особенностью такой модели является лёгкость модернизации в случае изменения каких-либо конструктивных или технологических условий.

Применение имитационного моделирования позволяет планировать модельный численный эксперимент и исследовать влияние отдельных факторов на объём выбранного материала при фрезеровании [6].

ВЫВОДЫ

Получена имитационная математическая модель в среде Simulink Simscape Multibody, которая позволяет исследовать влияние конструктивных и технологических факторов на форму очертания

поверхности отфрезерованной ремонтной карты при текущем ремонте покрытия автомобильной дороги.

Использование модели совместно с другими математическими методами позволяет на основании принятых критериев получать форму очертания поверхности отфрезерованной ремонтной карты и объем ремонтной смеси, необходимый для её заполнения.

Данная методика является обобщенной и будет совершенствоваться с учетом конкретных конструкций рабочих органов дорожных фрез и технологических параметров холодного фрезерования.

Использование предложенной методики позволит разработать систему поправочных коэффициентов при определении потребности в дорожно-строительных материалах [6] при выполнении текущего («ямочного») ремонта покрытий на автомобильных дорогах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги = Automobile roads : актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85* : утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 272 : дата введения 2013-07-01 / ЗАО «СоюздорНИИ». – Москва : Изд-во стандартов, – 2013. – 111 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ ISO 15645-2016. Оборудование дорожное строительное и эксплуатационное. Дорожные механизмы для измельчения. Терминология и эксплуатационные требования (ISO 15645:2002, Amd.1:2013, IDT) : издание официальное : утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2016 г. № 1141-ст : введен впервые : дата введения 2016-02-29 / подготовлен обществом с ограниченной ответственностью «ИЦ "ЦНИП СДМ"» (ООО «ИЦ "ЦНИП СДМ"»). – Москва : Стандартинформ, 2019. – 12 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 32825-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений = Automobile roads of general use. Pavements. Methods of measurement of the geometric dimensions of damages : утверждении приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 февраля 2015 г. N 47-ст. : введен впервые : дата введения 2015-07-01 / разработан ООО «Центр метрологии, испытаний и стандартизации», межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». – Москва : Стандартинформ, 2019. – 19 с. – Текст : непосредственный.
4. Истомин, В. С. Практическое руководство по текущему ремонту асфальтобетонных покрытий городской дорожной сети / В. С. Истомин. – Москва : Прима-пресс-М, 2001. – 111 с. – Текст : непосредственный.
5. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации : издание официальное : утверждено распоряжением Росавтодора № ОС-568-р от 27.06.2002 г. / Министерство транспорта Российской Федерации государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор). – Москва : Росавтодор, 2002. – 58 с. – Текст : непосредственный.
6. Шилин, И. В. Современные аспекты повышения эффективности ремонтно-восстановительных работ в региональных условиях / И. В. Шилин, В. Ю. Бурлай, В. В. Ушивцев. – Текст : непосредственный // «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» : материалы VI Международной научно-практической конференции, 27–28 мая 2020 г., Горловка. – Горловка : АДИ ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2020. – С. 173–177.

Получена 09.12.2021

І. В. ШИЛІН, А. В. ХІМЧЕНКО, Ю. М. СОКОЛОВА
РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОНТУРА РЕМОНТНОЇ КАРТИ НА ДОРОЖНЬОМУ
ПОКРИТТІ ПІСЛЯ ХОЛОДНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ
Автомобільно-дорожній інститут ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет», м. Горлівка

Анотація. Виконано аналіз методики підготовки пошкоджених ділянок покріттів автомобільних доріг у процесі їх відновлення при виконанні поточного (ямкового) ремонту. Розглянуто узагальнені питання імітаційного моделювання процесу холодного фрезерування дорожнього покріття нежорсткого типу та наведено алгоритм створення імітаційної моделі. Описані вихідні дані та обмеження, що приймаються в процесі моделювання, від яких залежить чистота фрезерування деформованої поверхні покріття. Використання моделі спільно з іншими математичними методами дозволяє на підставі прийнятих критеріїв отримувати форму обриси поверхні відфрезерованої ремонтної карти і обсяг ремонтної суміші, необхідний для її заповнення. Данна методика є узагальненою і буде вдосконалуватися з точки зору обліку конкретних конструкцій робочих органів дорожніх фрез і технологічних параметрів холодного

фрезерування сформульовані основні відмінності в методиці визначення потреби в дорожньо-будівельних матеріалах в залежності від чистоти фрезерування, при прийнятих інтервалах варіювання встановлених факторів. Сформульовано основні відмінності у методиці визначення потреби у дорожньо-будівельних матеріалах залежно від чистоти фрезерування при прийнятих інтервалах варіювання встановлених факторів. Встановлено основні напрямки подальших досліджень на основі одержаних результатів імітаційного моделювання.

Ключові слова: дорожня фреза, технологічна карта, дорожнє покриття, різець.

IGOR SHILIN, ARKADII KHIMCHENKO, YULIA SOKOLOVA
DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE OUTLINE OF A REPAIR MAP ON A
ROAD SURFACE AFTER COLD MILLING

Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka

Abstract. The analysis of the applied methodology for the preparation of damaged sections of road surfaces in the process of their restoration during the current (patching) repair is carried out. The generalized issues of simulation modeling of the process of cold milling of non-rigid pavement are considered and an algorithm for creating a simulation model is presented. The initial data and accepted limitations in the modeling process are described, on which the purity of milling of the deformed coating surface depends. The use of the model in conjunction with other mathematical methods allows, based on the accepted criteria, to obtain the shape of the outline of the surface of the milled repair card and the volume of the repair mixture required to fill it. This technique is generalized and will be improved from the point of view of taking into account the specific designs of the working bodies of road cutters and the technological parameters of cold milling, the main differences in the methodology for determining the need for road-building materials depending on the purity of milling, with the accepted intervals of variation of established factors, are formulated. The main differences in the methodology for determining the need for road-building materials, depending on the purity of milling, with the accepted intervals of variation of the established factors, are formulated. The main directions of further research are established on the basis of the obtained results of simulation modeling.

Key words: road milling cutter, routing, road surface, cutter.

Шилин Игорь Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и искусственных сооружений АДИ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка. Научные интересы: техническое обследование и осмотр инженерных сооружений, организация строительства автомобильных дорог, производственная база дорожного строительства.

Химченко Аркадий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта; начальник НИЧ АДИ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: автомобильный транспорт, автомобили, двигатели внутреннего сгорания, эксплуатация и диагностика технических средств автомобильного транспорта, имитационное моделирование сложных технических систем, применение искусственных нейронных сетей.

Соколова Юлия Николаевна – магистрант кафедры автомобильных дорог и искусственных сооружений АДИ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка. Научные интересы: производство дорожно-строительных материалов, текущий ремонт покрытий.

Шилин Ігор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних шляхів та штучних споруд АДІ ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет», м. Горлівка. Наукові інтереси: технічне обслідування та огляд інженерних споруд, організація будівництва автомобільних доріг, виробнича база дорожнього будівництва.

Химченко Аркадій Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту; начальник НДЧ АДІ ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: автомобільний транспорт, автомобілі, двигуни внутрішнього згоряння, експлуатація та діагностика технічних засобів автомобільного транспорту, імітаційне моделювання складних технічних систем, застосування штучних нейронних мереж.

Соколова Юлія Миколаївна – магістрант кафедри автомобільних шляхів та штучних споруд АДІ ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет», м. Горлівка. Наукові інтереси: виробництво дорожньо-будівельних матеріалів, ремонт покріттів.

Shilin Igor – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka. Scientific interests: technical inspection and inspection of engineering structures, organization of road construction, production base of road construction.

Khimchenko Arkadii – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka. Scientific interests: road transport, cars, internal combustion engines, operation and diagnostics of technical means of road transport, simulation of complex technical systems, the use of artificial neural networks.

Sokolova Yulia – master's student, Automobile Gates and Piece Equipment Department, of the Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka. Scientific interests: production of road-building materials, current repair of coatings.