

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

А.Г. Подопригора,
зам. начальника кафедры
автотехнической экспертизы
и автоподготовки
ФГОУ ВПО ВСИ МВД России,
канд. техн. наук, доцент

А.А. Несмеянов,
доцент кафедры
автотехнической экспертизы
и автоподготовки
ФГОУ ВПО ВСИ МВД России,
канд. физ.-мат. наук, доцент

Шероховатость бетонного покрытия автомобильной дороги оказывает значительное влияние на безопасность движения транспортных средств. При строительстве дорог для получения шероховатой поверхности целесообразно использовать заглаживающие машины с брусковыми рабочими органами. Предложены выражения для определения геометрических размеров рельефа и критерий расчета бездефектных режимов заглаживания бетонной поверхности.

Roughness of motorway concrete coating essentially affects road traffic safety. To expediently obtain a rough surface of a road it is advisable to employ floating machines with balk working units. We propose definitions for geometric sizes of reliefs and a criterion for calculating defect-free concrete surface floating modes.*

Дорожные происшествия являются самой опасной угрозой здоровью людей во всём мире. Ущерб от дорожно-транспортных происшествий превышает ущерб от всех иных транспортных происшествий. По данным ВОЗ в мире ежегодно в дорожных авариях погибают 1,2 млн человек и около 50 млн получают травмы. Одной из основных причин ДТП является неудовлетворительное состояние дорог.

Проблема аварийности на автотранспорте приобрела особую остроту за последние годы в связи с несоответствием существующей дорожно-транспортной инфраструктуры потребностям общества и государства, недостаточной эффективностью функционирования системы обеспечения безопасности дорожного движения, крайней низкой дисциплиной участников дорожного движения. Решение проблемы обеспечения безопасности дорожного движения относится сегодня к наиболее приоритетным задачам развития страны.

Цементно-бетонные покрытия по сравнению с другими типами покрытий являются наиболее долговечными в эксплуатации и безопасными по условиям движения транспортных средств.

Основным условием безопасного движения транспортных средств по дорогам является создание шероховатой поверхности, способствующей увеличению коэффициента сцепления шины с дорожным покрытием

* Podoprigora A.G., Nesmeyanov A.A. Technical Aspects of Road Traffic Safety.

Согласно требованиям действующих нормативных документов шероховатость дорожного покрытия должна находиться в пределах 0,5–10 мм¹. Шероховатой считается поверхность дорожного покрытия, полученная за счет равномерного распределения выступов высотой 0,5–10 мм и шагом до четырех высот. Такая поверхность может быть образована при использовании в поверхностных слоях одномерного минерального материала определенной формы и прочности или при ее специальной обработке. Можно выделить два основных метода обработки бетонных поверхностей.

Обработку поверхности затвердевшего бетона применяют для обнажения крупного заполнителя, создания равномерно чередующихся гладких борозд и рельефной структуры заданных размеров. Этот метод применяется независимо от способов бетонирования.

Для обработки затвердевшей бетонной поверхности применяются электрические бучарды с рабочим органом в виде зубьев. Рабочим органом электрической бучарды являются стальные шарошки, насаженные на гибкий вал.

Рабочим органом центробежной фрезы конструкции ВНИИСтройдормаш является вращающийся барабан, на котором закреплены оси с насаженными на них стальными звездочками фрезами. В зависимости от формы звездочек и их расположения на осях при вращении они могут наносить на обрабатываемые поверхности разнообразные мелкорельефные фактуры.

Ровная, слегка шероховатая поверхность создается при обработке поверхностного слоя абразивным инструментом.

Достоинством механической обработки бетонных поверхностей является высокое качество обработки на большой площади, высокая ее однородность. Недостатком этого метода является низкая производительность, возможность образования трещин в поверхностном слое при ударной обработке.

Обработка поверхности незатвердевшего бетона производится с учетом свойств применяемых материалов и возможностей производства.

Нанесение рельефа валиком осуществляется после уплотнения, выравнивания и заглаживания поверхности. Для повышения степени механизации труда валик навешивают на самоходный бетоноукладчик дорожного комплекса или другой самоходный механизм.

Рельефную поверхность получают протягиванием по свежееотформованной поверхности покрытий специальных профилирующих реек, называемых рельефообразователями. Профилирующий механизм состоит из вибробалки, к которой крепится профилирующая рейка.

Крупношероховатой получается поверхность свежееотформованного изделия, обработанная сжатым воздухом, поступающим из отверстий гребенки с давлением не менее 0,2–0,4 МПа. Поверхность при этом вспучивается и приобретает характерный рельеф².

Равномерношероховатую поверхность бетонных дорог получают при обработке свежесформованного бетона щетками с металлическим или капроновым ворсом. На выровненную и заглаженную поверхность опускают и быстро поднимают щетку, погружая в бетон ворс на глубину 3–5 мм. Раствор, увлекаемый за ворсом, образует на поверхности «шубу».

Способы устройства шероховатой поверхности дорожных покрытий за рубежом в основном те же, хотя и имеются некоторые отличия в технологии.

Проведенный обзор свидетельствует о том, что в настоящее время процесс рельефной обработки состоит из нескольких операций, причем в основном после операции выравнивания и заглаживания поверхности. Операции осуществляются разнообразными по конструкции машинами, являются весьма трудоемкими и сдерживают рост производительности труда.

В связи с этим интерес представляет получение рельефа на бетонной поверхности дороги в процессе ее заглаживания. Такая обработка не нашла широкого применения как в нашей стране так и за рубежом, хотя имеются отдельные сведения о получении рельефных поверхностей в процессе заглаживания³.

Получение рельефной поверхности экономически целесообразно, так как эта операция осуществляется одновременно с заглаживанием поверхности одним оператором машины. А первоначальные затраты на изменение параметров приводного механизма заглаживающего рабочего органа незначительны.

Анализ литературы показал большое разнообразие заглаживающих машин, используемых для отделки бетонных поверхностей, их конструкций и кинематики движения рабочего органа. Существующие заглаживающие машины можно классифицировать по рабочим органам, имеющим вид диска или лопастей, совершающих вращательное движение относительно вертикальной оси; валков с горизонтальной осью вращения; брусьев и лент, совершающих плоскопараллельное движение относительно заглаживаемой поверхности; комбинации перечисленных рабочих органов⁴. Они отличаются по назначению, конструктивному исполнению, по виду движения рабочего органа в плане и способу его воздействия на обрабатываемую поверхность и типу привода.

Диски широкого распространения в дорожном строительстве не получили, так как они не могут калибровать поверхности в уровень с бортами опалубки.

Пустотелые цилиндрические валки используются для заглаживания бетонной поверхности, а ступенчатые, конические, профильные и сетчатые – для придания поверхности определенной конфигурации и получения рельефной или шероховатой структуры.

Заглаживающие машины с рабочим органом в виде бруса наиболее часто применяются на финишных операциях в дорожном строительстве. Анализ показал, что при работе некоторых устройств обрабатываемая поверхность получается с незначительными бороздами, располагающимися

определенным образом в зависимости от типа приводного механизма. Это объяснялось, прежде всего тем, что волна бетонной смеси, нагнетаемая задней кромкой бруса в местах остановок приводного механизма, оставалась на обрабатываемой поверхности в виде борозд.

Для обработки поверхностей применяются деревянные и металлические брусья, виброрейки, рабочие органы, содержащие от одного до трех вибробрусков. Во время движения заглаживающей машины вдоль покрытия рабочие органы совершают длинно-ходовые возвратно-поступательные движения поперек направления заглаживания, обеспечивая калибровку и выглаживание профиля дороги. Известны конструкции заглаживающих машин, содержащие рабочий орган, совершающий круговое движение в горизонтальной плоскости (А.с. № 352989, 436125, 443768, 1021624, Патент США № 2244297, 222666, 2277389).

Брусковые рабочие органы по сравнению с валковыми и дисковыми обладают рядом преимуществ, к числу которых следует отнести: возможность обработки всей ширины изделия с одинаковой точностью калибрования его толщины; высокая производительность; малый удельный расход энергии; равномерный износ трущейся поверхности. В качестве недостатков следует отметить кинематическую несовершенство бруса, совершающего возвратно-поступательное движение, неравномерное распределение усилий по длине бруса. Перечисленных недостатков лишены брусковые рабочие органы, совершающие круговое движение. Они эффективнее воздействуют на заглаживающую поверхность за счет более высокой скорости собственного движения, легко уравниваются и характеризуются высокой стабильностью процесса заглаживания, равномерностью и незначительностью износа.

Большинство конструкций дорожно-отделочных машин и заглаживающих машин, которые при обработке бетонной поверхности создают стабильный рельеф, создавались без предварительных исследований, чем и объясняется мелкосерийное или даже единичное изготовление разнообразных моделей, сопровождаемое заменой рабочих органов новыми или изменением режимов работы в поисках более эффективных.

Изучение доступных литературных источников показало отсутствие исследований по брусковым рабочим органам, совершающим сложные круговые движения в горизонтальной плоскости, которые имеют большие возможности для получения разнообразных рельефов на поверхности дорожных покрытий.

При взаимодействии с бетонной поверхностью скользящего брускового рабочего органа, совершающего круговые движения, в зоне их контакта образуется градиентный слой. В силу особенностей тиксотропных структур восстановление структуры поверхностного слоя бетона осуществляется в течение некоторого времени, за которое рабочий орган при поступательном движении проходит определенное расстояние⁵. Позади рабочего органа остается слой h_0 с малой вязкостью, протяженность которого зависит от

реологических свойств бетонной смеси. Во время рабочего хода под брусом образуется клиновидная щель, в которой движение материала является комбинацией двух типов течений. Первое – это течение в пристенном слое под действием вращающегося рабочего органа в силу адгезии материала. Второе – это течение материала в плоской клиновидной щели под действием поступательного движения рабочего органа. В этом случае материал течет в двух взаимно противоположных направлениях, выдавливаясь в обе стороны.

Анализ характера течения бетонной смеси позволяет выявить условия образования дефектов на поверхности обрабатываемого материала. При воздействии рабочего органа на бетонную смесь, последняя разжижаясь, течет в двух направлениях. Общий расход смеси равен сумме расходов через сечение под передней кромкой Q_{II} и задней кромкой Q_3 бруса. На рабочий орган набегают потоки, характеризующийся размером h_1 . Расход потока будет равен

$$Q_{наб} = V_3 \cdot h_1 ,$$

где V_3 – скорость поступательного движения бруса.

Состояние бетонной поверхности будет зависеть от соотношения рассмотренных потоков $Q_{наб}$, Q_{II} и Q_3 . Расход Q_{II} характеризует пропускную способность рабочего органа, и если эта способность соответствует в сумме с Q_3 расходу набегающего потока $Q_{наб}$, то в соответствии с условием неразрывности потока дефекты на поверхности изделия возникать не будут. Также они не возникают, если пропускная способность рабочего органа больше набегающего потока. В этом случае будет наблюдаться периодический контакт рабочего органа со слоем пристенного скольжения. Если же расход набегающего потока будет больше суммы расходов через сечение под передней кромкой Q_{II} и задней кромкой Q_3 бруса, то на обрабатываемой поверхности появятся трещины.

Условия отсутствия макродефектов на поверхности заглаженного изделия можно записать в виде:

$$Q_{наб} \leq Q_{II} + Q_3 , \quad Q_3 = V_3 \cdot h_0 .$$

В соответствии с законом течения бетонной смеси, выведенного для плоской щели⁶, и учитывая, что коэффициент скольжения гладкого рабочего органа при обработке структурированных систем определяется степенью параболы, аппроксимирующей реологическую кривую течения материала, окончательное условие отсутствия макродефектов на обрабатываемой поверхности запишется в виде:

$$\frac{V_{BP}}{V_3} \geq \frac{h_{CP}(8n+4)}{h_0(5n^2+n)} t_P , \quad \frac{V_{BP}}{V_3} = \frac{(8n+4)}{(5n^2+n)} t_P ,$$

где h_{CP} – высота снимаемого слоя бетонной смеси с обрабатываемой поверхности; t_p – коэффициент, учитывающий тип привода бруса.

В зависимости от параметров рабочих органов, совершающих сложное круговое движение, и реологических характеристик бетонной смеси получены выражения для определения геометрических размеров рельефа на заглаживаемой поверхности высоты волны h и ширины волны b :

$$h = \left\{ \frac{16 \operatorname{tg} \alpha \cdot l_1 \cdot x_* \cdot n}{P^2 (V_{BP} - V_3) \sqrt[n]{k} (n+1)} \left\{ \frac{n+1}{2n+1} (\tau_* - \tau_0)^{(2+\frac{1}{n})} + \tau_0 (\tau_* - \tau_0)^{(1+\frac{1}{n})} + \tau_0^{(2+\frac{1}{n})} \frac{3n+2}{2n+1} \right\} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$b = \left\{ \frac{64 \cdot l_1 \cdot x_*^2 \cdot n}{P^2 \operatorname{tg} \alpha (V_{BP} - V_3) \sqrt[n]{k} (n+1)} \left\{ \frac{n+1}{2n+1} (\tau_* - \tau_0)^{(2+\frac{1}{n})} + \tau_0 (\tau_* - \tau_0)^{(1+\frac{1}{n})} + \tau_0^{(2+\frac{1}{n})} \frac{3n+2}{2n+1} \right\} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Для получения рельефа на заглаживаемой бетонной поверхности целесообразно использовать брусковые рабочие органы, имеющие следующий тип привода:

- четырехшарнирный антипараллелограм;
- однокривошипный четырехзвенник;
- кривошипно-шатунный механизм с неполным вращением кривошипа;
- кривошипно-шатунный механизм с полным вращением кривошипа;
- двухкривошипный шестишарнирный параллелограмм.

Изучение явлений, происходящих под рабочим органом, позволило установить характер течения и деформирования бетонной смеси в градиентном слое. Получены критерии, позволяющие рассчитать бездефектные режимы заглаживания бетонных поверхностей в зависимости от реологических характеристик бетонной смеси и типа привода рабочего органа. Проведенные исследования позволяют обоснованно подходить к созданию заглаживающих машин, способных при обработке незатвердевших бетонных поверхностей образовывать на них шероховатую структуру.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ ВСН 139-80. Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных. М.: Минтрансстрой, 1980; СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. М.: Госстрой СССР, 1989.

² См.: Макулов Н.П. Технология индустриальной отделки крупноразмерных элементов зданий. М., 1965.

³ См.: Болотный А.В., Мамаев Л.А. Способ декоративной отделки бетонных поверхностей // Повышение эффективности использования машин в строительстве: межвуз. сб. тр. № 1(127). Л., 1977. С. 14–16.

⁴ См.: Мамаев Л.А., Герасимов С.Н., Федоров В.С. Процессы в бетонных смесях. Воздействие бетоноотделочных машин с внешним магнитным полем // Строительные и дорожные машины. 2010. № 3. С. 53–57.

⁵ См.: Болотный А.В. Заглаживание бетонных поверхностей. Л.: Стройиздат, 1979.

⁶ См.: Урьев Н.Б., Михайлов А.В. Коллоидный цементный клей и его применение в строительстве. М.: Стройиздат, 1967.