

Научная статья
УДК 625.76.08

Влияние положения уплотняющего оборудования на степень уплотнения материала в местах стыков нового и старого асфальтобетонного покрытия

Никита Вячеславович Новоторцев¹, Анатолий Дмитриевич Алексеев²,
Сергей Аркадьевич Павлов³, Александра Михайловна Погонина⁴

^{1,2,3,4}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹nikita.nova2002@mail.ru

²silverounce21@yandex.ru

³dormash@madi.ru

⁴shur-shu@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема влияния положения уплотняющего оборудования на степень уплотнения материала при стыках нового и старого асфальтобетонного покрытия. Исследование оптимального способа уплотнения в местах стыков позволит сделать асфальтобетонное покрытие более долговечным. Основным предметом исследования являются величина перекрытия и типы штампов, которыми выполняют уплотнение. На первом этапе проведено уплотнение цилиндрическим штампом, равнозначным гладкому вальцу. Необходимо выявить рациональную форму уплотняющего штампа для мест стыков и получить максимальный коэффициент уплотнения, а также единство структуры асфальтобетонного слоя. Разработан стенд, моделирующий уплотнение смеси в зависимости от положения штампа на местах стыков. Теоретическая и практическая задачи исследования предполагали обзор существующих видов стыков, проектирование и создание стенда для исследования рационального положения вальца относительно стыка, определение массы материала, выходящего за пределы места стыка при уплотнении, определение плотности материала.

Ключевые слова: позиция вальца, дорожный каток, стыки асфальтобетонных покрытий, форма уплотняющего штампа, нагрузка от уплотняющего штампа, наземная дорожная техника, экспериментальное исследование.

Для цитирования: Новоторцев Н.В., Алексеев А.Д., Павлов С.А., Погонина А. М. Влияние положения уплотняющего оборудования на степень уплотнения материала в местах стыков нового и старого асфальтобетонного покрытия // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. №1 (39).

Original article

The influence of the position of the sealing equipment on the degree of compaction of the material at the joints of the new and old asphalt concrete pavement

Nikita V. Novotortsev¹, Anatoly D. Alekseev², Sergey A. Pavlov³, Alexandra M. Pogonina⁴

^{1,2,3,4}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),

Moscow, Russia

¹nikita.nova2002@mail.ru

²silverounce21@yandex.ru

³dormash@madi.ru

⁴shur-shu@mail.ru

Abstract. The article considers the problem of the influence of the position of sealing equipment on the degree of compaction of the material at the joints of new and old asphalt concrete pavement. The study of the optimal sealing method at the joints will make the asphalt concrete coating more durable. The main subject of the study is the amount of overlap and the types of stamps used to seal. At the first stage, the sealing was carried out with a cylindrical die equivalent to a smooth roller. It is necessary to identify the rational shape of the sealing stamp for the joints and obtain the maximum compaction coefficient, as well as the unity of the structure of the asphalt concrete layer. A stand has been developed that simulates the sealing of the mixture depending on the position of the stamp at the joints. The theoretical and practical objectives of the study included a review of existing types of joints, design and creation of a stand to study the best position of the roller relative to the joint, determination of the mass of the material extending beyond the joint during sealing, determination of the density of the material.

Keywords: the position of the roller, the road roller, the joints of asphalt concrete pavements, the shape of the sealing stamp, the load from the sealing stamp, ground road equipment, experimental research.

For citation: Novotortsev N.V., Alekseev A.D., Pavlov S.A., Pogonina A.M. The influence of the position of the sealing equipment on the degree of compaction of the material at the joints of the new and old asphalt concrete pavement // *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. №1 (39).

Введение

Для ремонта дорожного покрытия чаще применяют не полную замену всего покрытия, а ямочный ремонт или снятие одной полосы дорожного покрытия. Установлено, что при уплотнении асфальтобетонной смеси в

местах стыков возникает нарушение единства конструкции полотна. Определение способа установки уплотняющего оборудования и его типа относительно стыка может в значительной степени повлиять на степень уплотнения асфальтобетонной смеси в местах стыков, что является актуальной проблемой в технологии ремонта дорог.

Научная новизна исследования заключается в обосновании позиции уплотняющего оборудования относительно стыка, а также в исследовании рациональной формы штампа уплотняющего оборудования, что позволит в дальнейшем перенести данный опыт на область строительства дорог при ремонте смежных полос, когда существует граница между старым жестким асфальтобетонным покрытием и, вновь уложенной асфальтоукладчиком, смесью.

Основная часть

Для оценки качества асфальтобетонного покрытия, формируемого вследствие уплотнения, используются методы контроля асфальтобетонной смеси на всех стадиях строительства. Оценка качества начинается на этапе рецептурного приготовления смеси на асфальтобетонном заводе, продолжается при поступлении на строительный участок и заканчивается через некоторое время после укладки покрытия (отбор кернов). Существуют методы контроля качества битума и других заполнителей смесей, которые позволяют предотвратить получение низкокачественного покрытия. Предварительную оценку качества выполняют с помощью методики Маршалла и вращательного уплотнителя – гиратора, которые позволяют определить требуемую плотность в лабораторных условиях.

Плотность – это наиболее важный параметр, по которому выполняют оценку качества асфальтобетонной смеси. Снижение плотности свидетельствует об излишнем наличии воздушных пустот, что приведет к потере эксплуатационной пригодности покрытия. Однако для полной картины качества следует использовать и другие характеристики покрытия.

При этом необходимо обратить внимание на наиболее слабые участки покрытий, а именно места стыков асфальтобетонного покрытия, образующихся в результате остановок асфальтоукладчика при нарушении технологического процесса укладки смеси (недостаточное количество смеси, задержка доставки, поломка техники). Несмотря на существующие методы испытаний, изучение стыков, помимо измерения плотности, представляется интересным направлением для дальнейших исследований, поскольку не разработаны способы оценки покрытий в данных местах во время строительства покрытия, при его укладке и последующем уплотнении.

Асфальтобетонная смесь сложный комплекс материалов, легко изменяющих свойства при изменении температуры и совокупной плотности. Наличие фундаментальных теоретических знаний о технологии строительства покрытия является залогом верного интерпретирования результатов испытаний, которые напрямую связаны с поведением смеси. Исследование движения частиц смеси при уплотнении дорожными катками, как определенного потока упруговязкопластичной среды, моделируемое в лабораторных условиях, не всегда удастся полностью воспроизвести для полевых испытаний в силу принципиальных отличий условий, в которых протекает процесс.

Целью исследования является создание научной основы понимания потока движения смеси (перестановка, перераспределение частиц) при уплотнении дорожными катками, особенно для мест стыков покрытия. Предполагается возможность использовать полученные результаты для работы в полевых условиях, что поможет избежать ускоренного износа швов в ходе эксплуатации покрытия. Начальным шагом понимания движения потока материала в местах стыка является моделирование процесса уплотнения в малом масштабе с использованием простых модельных материалов.

Стыки на асфальтобетонном покрытии можно найти практически на

всех типах дорог. Один лишь небольшой участок дороги, где они присутствуют, может оказать значительное влияние на безопасность дорожного движения, комфорт водителя и, безусловно, на долговечность покрытия. На таком участке покрытие может быстро потерять свою функциональность из-за проникновения воды и образования льда, усиленного износа вследствие перепада уровней покрытия, циклов изменения окружающей температуры. С точки зрения безопасности, потеря заполнителей в стыковых местах может привести к раскрашиванию текстуры, отсоединению кусков покрытия и переносу за счет трения шин и скоростного режима на лобовое стекло транспортных средств с последующим повреждением последних.

Разрушение стыков происходит под влиянием различных факторов: недостаточное уплотнение, нарушение подготовки основания и технологии ямочного ремонта, температурное воздействие, загруженность покрытия, направление движения потока машин (рис.1).

Формирование стыка происходит не только при ямочном ремонте, но и при строительстве дорог. В зависимости от того, какая температура у старого покрытия стыки (швы) разделяют на горячие, теплые и холодные. При незначительной разнице температур между старыми и новыми участками и превышении хотя бы одним из них температуры в $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ шов называется горячим. Если новый участок заполняется смесью ниже температуры $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, такой шов называется теплым. Если температура обоих участков ниже $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ стык называется холодным. Как правило, такое может произойти, например, при задержке между укладкой двух смежных полос.

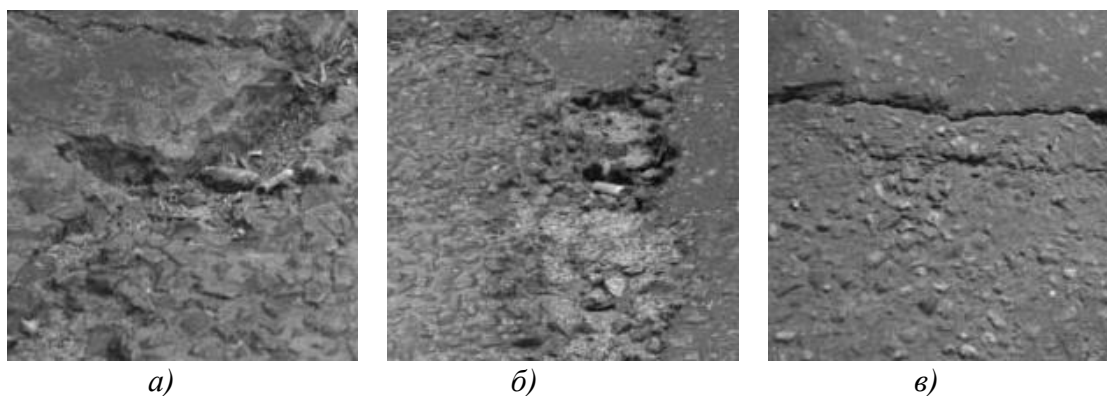


Рис. 1. Стыки: разрушенные (а) и (б), вскрытый, вдоль направления движения машин (в)

Холодные швы также формируются при ямочном ремонте. Узкие стыки закрывают заплатами, однако, по сравнению со швами, используемыми при строительстве покрытий, важно учесть некоторые обстоятельства. Для оценки стыков используют лишь плотность. Например, некоторые стандарты допускают расхождение в плотности между основным покрытием и стыком 2%. Для этого используют отбор кернов или плотномеры, в то время как других измерений в полевых условиях, так сказать, на месте, не проводят.

При строительстве и ремонте формируются стыки в основном стандартных форм. Это имеет значение, поскольку от этого зависит плотность формируемого шва. Часто используемые формы – это переменный угол откоса, в виде клина (рис. 2а) и откос под углом, формируемый ограничительным колесом (рис. 2б) для обеспечения лучшего прилегания швов при прокладке второй полосы движения.

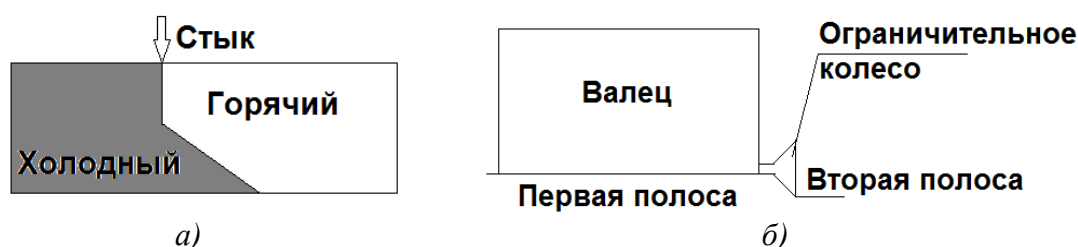


Рис. 2. Геометрия шва: клин (а), откос (б)

Практический опыт показал, что уплотнение со стороны стыка (рис. 3а) или старого покрытия (рис. 3б) с образованием перекрытия в 15 см является

не совсем эффективным. Сейчас все чаще применяют уплотнение нового участка на расстоянии 15 см от старого с последующим приближением к старому (рис. 3в).

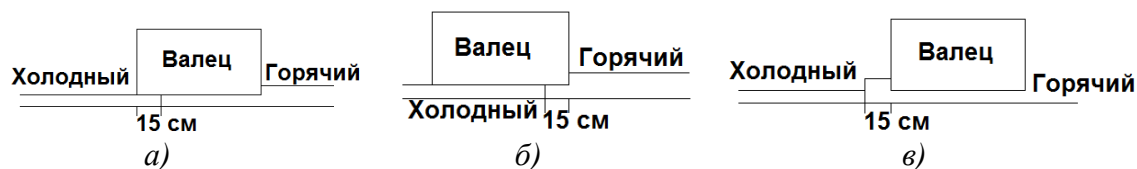


Рис. 3. Схема уплотнения шва: старая (а, б), новая (в)

Для герметизации и укрепления применяют эмульсии, модифицированные добавками, например, латексом, или эмульсии с высоким содержанием битума (65% битума и 35% воды) с предварительным разогревом старого покрытия.

Для выполнения исследования моделируются различные формы откоса стыка (рис. 4) и схемы уплотнения (рис. 3)

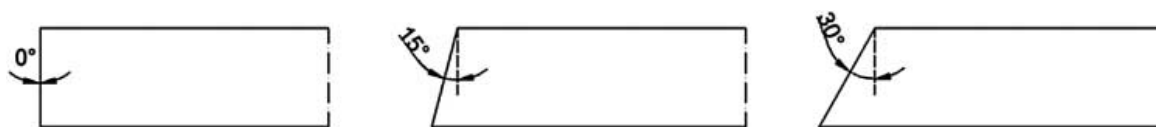


Рис. 4. Различные углы наклона стыка

Детальное изучение структуры швов позволяет установить, что холодная сторона швов (старое покрытие) обычно изношена, поэтому она более жесткая, чем сторона укладки нового материала.

Для моделирования поведения материала при уплотнении следует разработать устройство для исследования направления потока материала. Устройство будет состоять из бокса, заполняемого асфальтобетонной смесью, которая загружается с одной стороны. С противоположной стороны остается область свободная от нагрузки (рис. 5).

Чтобы понять поведение потока частиц, следует свести к минимуму дополнительные перемещения, которые могут возникнуть, например, при использовании штампа в форме вальца. При использовании легкого цилиндрического штампа поток частиц разделяется в двух направлениях,

материал образует волну перед штампом и позади него. Также происходит выпор материала в боковые стороны (рис. 5а).

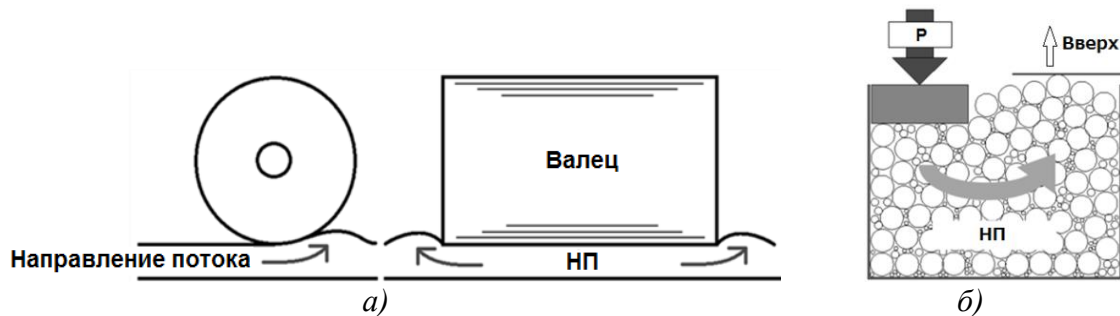


Рис. 5. Волнообразование (НП – направление потока материала при уплотнении, Р – нагрузка): в полевых условиях (а); вид сбоку экспериментального бокса (б)

Разработанный для экспериментальных исследований стенд представляет собой жесткую конструкцию, в которой выполнено отверстие, имитирующее место стыка на дорожном покрытии. Первоначальные исследования проведены для вальца (рис. 6).

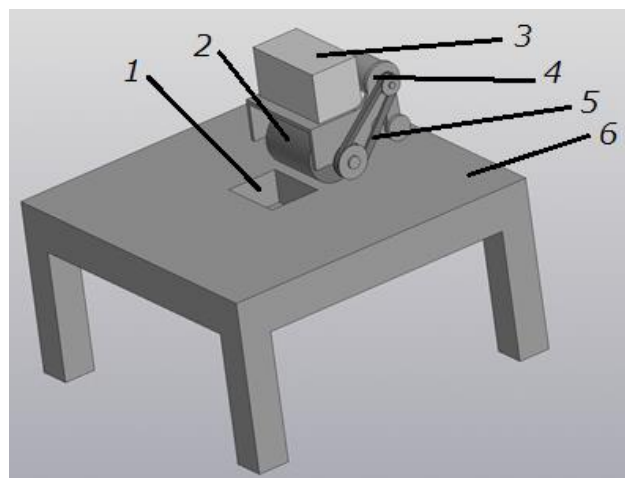


Рис. 6. Экспериментальный стенд: 1 – имитация стыка покрытия; 2 – гладкий валец; 3 – догружаемая масса; 4 – электродвигатель; 5 – ременная передача; 6 – рама стенда

Валец, ось которого закреплена в раме, догружается различной массой, что моделирует разные типоразмеры вальцов дорожного катка. Так же на раме установлен электродвигатель, который с помощью ременной передачи приводит в движение валец.

Для определения количества материала, выходящего за пределы стыка при уплотнении, а также его плотности в пределах стыка, проведена серия

лабораторных исследований. Для представления графических материалов и выполнения вычислений использовано приложение MS Office.

В моделируемый стык помещают материал, по своим свойствам близкий к горячей асфальтобетонной смеси, далее устанавливают в определенную позицию валец и включают электродвигатель. Валец начинает движение по месту стыка, после выезда вальца за области стыка весь смещенный материал отсекают, собирают и взвешивают. Одновременно с этим извлекают объем материала, подвергнутый уплотнению и оставшийся в стыке.

В ходе исследований первой серии опытов проведено четыре разных эксперимента, в каждом из которых меняли позицию вальца относительно стыка. Первая позиция отсутствие перекрытия стыка (грань вальца совпадает с гранью стыка, перекрытие 0%) (рис. 7а), во втором случае перекрытие стыка вальцом составляет 50% от его ширины, в третьем случае – 30%, в четвертом случае перекрытие вальца с опорой на жесткую поверхность составляет 15 см, что соответствует не более 0,08% ширине вальца (рис. 7б).

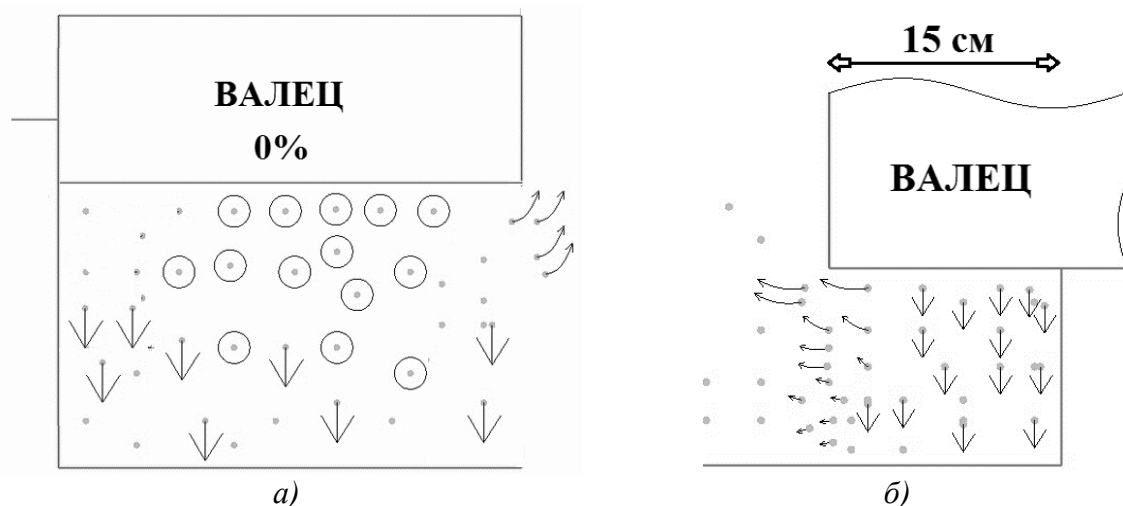


Рис. 7. Позиция вальца на стыке (движение на нас): без перекрытия (а), с перекрытием (б)

Первая серия опытов была сделана при движении от холодного покрытия в направлении горячего и полностью по горячему (грань стыка), откос стыка вертикальный. Во второй серии планируется перемещение

валяца от горячего покрытия к холодному, в третьей – использование плоского штампа от холодного к горячему, в четвертой – движение плоского штампа от горячего к холодному. В качестве результатов исследования приведены средние значения, полученные в ходе каждого эксперимента с разной позицией вальца (табл. 1). Фиксировали исходную массу материала в области стыка – $M_{гр}$, массу материала, вышедшего за пределы стыка – $M_{выд}$, массу материала уплотненного в стыке – $M_{ост}$, плотность материала в пределах стыка – ρ , соотношение между первоначально уложенной массой и массой материала, вышедшего за пределы стыка). Для более наглядной оценки результатов построена диаграмма (рис. 8).

Таблица 1

Результаты эксперимента

	Перекрытие вальцом стыка			
	0%	30%	50%	0,08%
$M_{гр}, г$	239,4	245,3	230,7	217,3
$M_{выд}, г$	26,1	34,4	16,5	14,6
$M_{ост}, г$	213,3	210,8	214,2	202,8
$\rho, кг/м^3$	1630	1550	1965	1490
$M_{выд}/M_{гр}$	10,06%	14%	7,1%	6,7%

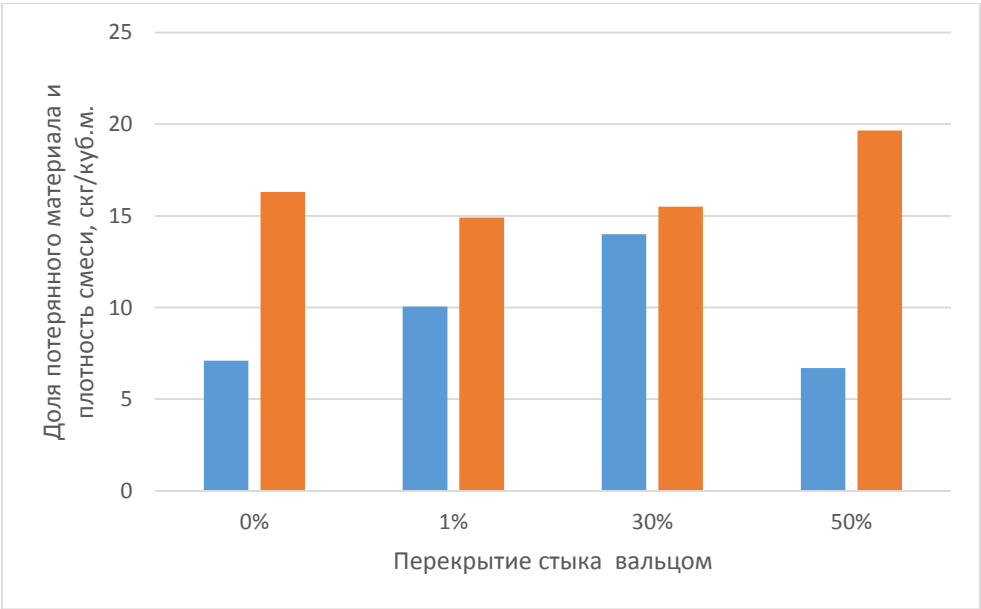


Рис. 8. Доля материала, вышедшая за пределы карты , плотность смеси  при разном перекрытии вальцом

Попадание вальца в грань приводит к значительному выдавливанию материала не только по ходу движения вальца, но и в сторону нового покрытия, поскольку наблюдается интенсивная осадка материала. Со стороны старого жесткого покрытия образуется волна, не покидающая стык, а идущая вдоль него, этим объясняется небольшая доля материала, выводимого за пределы стыка и получение достаточно высокого значения плотности. При установке вальца в положение 0,08-1% перекрытия стыком за счет практически полной опоры на старое покрытие значение плотности возрастает незначительно. Материал перемещается за пределы стыка в основном вдоль направления движения вальца. 30% позиция вальца незначительно лучше, чем позиция с перекрытием в 0,08%. Наиболее эффективно показала себя установка вальца в 50% перекрытие стыка. Небольшая доля выдавленного материала объясняется тем, что валец как бы запирает собой часть стыка и, порой балансируя на грани за счет незначительного смещения центра массы, приобретает незначительный крен, приводя к созданию двухмерного сжатия нового покрытия в сторону старого (рис. 9).

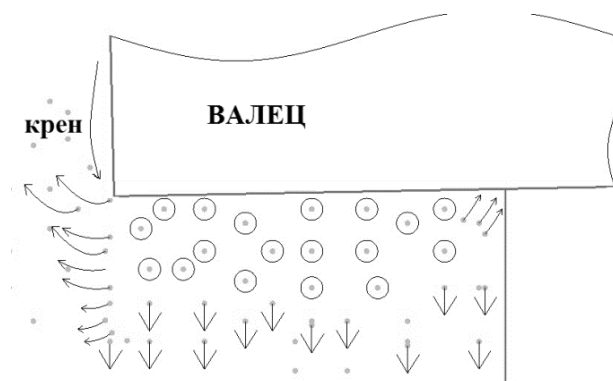


Рис. 9. Позиция вальца, с центром тяжести по стыку

После проведения первой серии испытаний и обработки данных очевидным критерием качественного уплотнения является отношение потерянному материалу из стыка к величине плотности (рис. 10). Чем меньше значение величины критерия, тем уплотнение будет более эффективным.

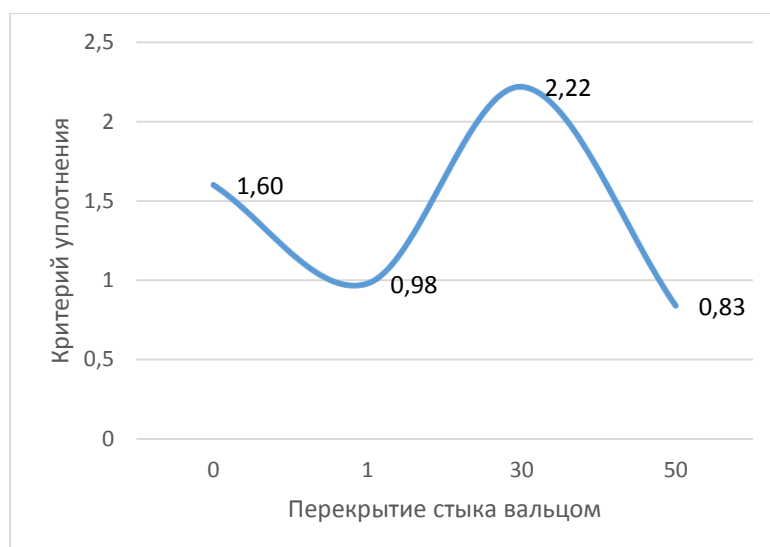


Рис. 10. График эффективности уплотнения при разной позиции вальца

Заключение

Исходя из выполненных исследований первого этапа экспериментов (уплотнение вальцом при движении от холодного к горячему покрытию), наименьшая потеря материала в стыке происходит при позиции вальца в 0 и 50%, что является вполне логичным. Однако замеры плотности материала позволяют уточнить, что позиция перекрытия вальцом карты в 50% является более эффективной с точки зрения получения максимальной плотности, что отражает минимальное значение величины введенного критерия эффективности уплотнения.

Список источников

1. Дорожные катки: развитие, конструкция, расчёт : учеб. пособие / В. И. Баловнев, С. Н. Иванченко, Р. Г. Данилов, А. В. Лещинский ; под общ. ред. проф. В. И. Баловнева и проф. С. Н. Иванченко. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. – 216 с.
2. Определение параметров и режимов уплотнения дорожных катков : Учебное пособие / Г. В. Кустарев, В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов, С. А. Павлов. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – 142 с. – EDN TNBMSI.

3. Кустарев, Г. В. Техника и технология для скоростного строительства асфальтобетонных покрытий : учебное пособие / Г. В. Кустарев, С. А. Павлов, А. В. Ушков. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. – 132 с. – EDN RGPYXN.
4. Технология дорожных бетонов : учебное пособие для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 Строительство в 2 частях / Е. В. Королев, С. С. Иноземцев, С. Ю. Шеховцова [и др.]. Том 1. – Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. – 100 с. – ISBN 978-5-7264-2370-8. – EDN SXHYXC.
5. Патент на полезную модель № 138857 U1 Российская Федерация, МПК E01C 19/25. устройство для уплотнения горячих асфальтобетонных смесей : № 2013126057/03 : заявл. 06.06.2013 : опубл. 27.03.2014 / П. Е. Жарцов, С. А. Павлов, Г. В. Кустарев. – EDN WBTJLY.
6. Патент на полезную модель № 194303 U1 Российская Федерация, МПК E01C 19/23. Устройство для уплотнения горячих асфальтобетонных смесей и грунтов : № 2019122624 : заявл. 18.07.2019 : опубл. 05.12.2019 / О. Ю. Казаков, Г. В. Кустарев. – EDN RZMWSK.

References

1. Balovnev V.I., Ivanchenko S.N., Danilov R.G., Leshchinskij A.V. *Dorozhnye katki: razvitie, konstrukciya, raschyot* (Road rollers: development, design, calculation), Habarovsk, Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2016, 216 p.
2. Kustarev G.V., Balovnev V.I., Danilov R.G., Pavlov S.A. *Opredelenie parametrov i rezhimov uplotneniya dorozhnykh katkov* (Determination of parameters and compaction modes of road rollers), Moscow, MADI, 2022, 142 p.
3. Pavlov S.A., Kustarev G.V., Ushkov A.V. *Tekhnika i tekhnologiya dlya skorostnogo stroitel'stva as-fal'tobetonnykh pokrytij* (Equipment and technology for high-speed construction of asphalt concrete pavements), Moscow, MADI, 2023, 132 p.
4. Korolev E.V., Inozemtsev S.S., Shekhovtsova S.Yu. and others. *Tekhnologiya dorozhnykh betonov* (Technology of road concrete), Moscow, Natsional'nyy issledovatel'skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet, 2020, 100 p.
5. ZHarcov P.E., Pavlov S.A., Kustarev G.V. Patent RU 138857 U1, 27.03.2014.
6. Kazakov O.YU., Kustarev G.V. Patent RU 194303 U1, 05.12.2019.

Рецензент: Г.В. Кустарев, канд. техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Новоторцев Никита Вячеславович, студент, МАДИ.

Алексеев Анатолий Дмитриевич, студент, МАДИ

Павлов Сергей Аркадьевич, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Погонина Александра Михайловна, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Information about the authors

Novotortsev Nikita V., student, MADI.

Alekseev Anatoly D., student, MADI.

Pavlov Sergey A., Candidate of Sciences (Technical), associated professor, MADI.

Pogonina Alexandra M., Candidate of Sciences (Technical), associated professor, MADI.

Статья поступила в редакцию 17.01.2024; одобрена после рецензирования 29.01.2024; принята к публикации 21.03.2024.

The article was submitted 17.01.2024; approved after reviewing 29.01.2024; accepted for publication 21.03.2024.