

УДК 625.084

Проблемы повышения технического уровня отечественных вибрационных катков

Тюремнов Иван Сергеевич,
заведующий кафедрой, канд. техн. наук, доцент

tyuremnovis@yandex.ru
SPIN-код: 9976-0728

Кафедра «Строительные и дорожные машины»,
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Россия

Аннотация. Рассмотрены технико-технологические факторы, определяющие технический уровень дорожных катков, включающие уровень автоматизации отечественных и зарубежных катков, эргономику, технические характеристики, а также уровень научно-исследовательского обеспечения обоснования технических характеристик отечественных катков. Проанализированы некоторые причины невысокой доли российского рынка дорожных катков, занимаемой отечественными производителями и предложены меры по улучшению данной ситуации.

Ключевые слова: дороги автомобильные, катки дорожные, катки вибрационные, объем продаж, технические характеристики, режимы работы

Problems of increasing the technical level of domestic vibratory rollers

Tyuremnov Ivan Sergeevich,
Head of the Department, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

tyuremnovis@yandex.ru
SPIN-code: 9976-0728

Department of Construction and Road Machinery, Yaroslavl State Technical University,
Yaroslavl, Russia

Abstract. The technical and technological factors determining the technical level of road rollers, including the level of automation of domestic and foreign rollers, ergonomics, technical characteristics, as well as the level of scientific and research support for substantiating the technical characteristics of domestic rollers, are considered. The article analyzes some of the reasons for the low share of the Russian road roller market occupied by domestic manufacturers and suggests measures to improve this situation.

Keywords: automobile roads, road rollers, vibratory rollers, sales volume, technical characteristics, operating modes

Введение. Уплотнение материалов является ключевым фактором обеспечения прочности конструктивных слоев автомобильных и железных дорог, оснований зданий и сооружений, плотин и т. д. Для механизации данных работ применяются уплотняющие машины, наибольшее распространение из которых получили катки различного типа. В настоящее время в строительстве

применяются катки статического и вибрационного (преимущественно) типа с различными исполнениями вальцов: гладковальцовые, пневмоколесные, кулачковые и другие.

По данным [1], в РФ в период 2021...2023 годов в РФ было произведено 897 дорожных катков. В то время, как импорт за этот же период составил: 7639 новых катков и 392 бывших в употреблении. Таким образом, если рассматривать только новые машины, то в 2021...2023 годах, в нашей стране ежегодно производилось, в среднем, около 300 дорожных катков различных типов, а импортировалось около 2550 новых катков, то есть доля российских катков составила, в среднем, около 11 %. Причем, с 2022 года поставки в РФ катков ведущих производителей из Европы и США практически прекратились, а вместо этого резко выросли продажи катков из Китая. Так, например, в 2023 году в РФ был импортирован 2221 каток при собственном производстве 314 катков [1], то есть на 1 каток российского производства приходилось около 8 импортных (преимущественно, китайских) катков. Это не только не помогает обеспечению технологического суверенитета России и обретению независимости от поставок техники и комплектующих из-за рубежа, но и способствует перетеканию существенных финансовых ресурсов из страны, поскольку отечественные производители занимают лишь малую часть имеющегося рынка данного вида техники, который оценивается суммой не менее, чем в 10...15 миллиардов рублей ежегодно.

Сложившаяся ситуация имеет множество причин, связанных, в том числе, с техническими характеристиками и функциональными возможностями отечественных катков, технологическими факторами производства, наличием компонентной базы и другими технико-технологическими факторами, влияющими на технический уровень производимых в РФ машин.

Результаты. Современные дорожные катки, несмотря на кажущуюся простоту, являются сложной и высокотехнологичной техникой, оснащенной большим количеством автоматизированных систем, функционирующей на открытом воздухе в изменяющихся погодных условиях и высокодинамичных режимах работы.

На современных дорожных катках применяются различные системы *автоматизации и информационной поддержки*. Для предотвращения избыточного уплотнения материала при остановке и реверсировании асфальтовых катков применяются системы автоматического выключения вибровозбудителя при уменьшении скорости катка ниже определенного значения и автоматического включения вибрации при увеличении скорости движения. Цифровые панели приборов и встроенные системы мониторинга состояния машины с возможностью регистрации всех параметров функционирования («черного ящика») и передачи данных по беспроводным каналам связи; системы бесконтактного контроля температуры асфальтовых смесей; непрерывного контроля уплотнения; геопозиционирования и контроля числа проходов; документирования результатов работы за счет формирования карт распределения температуры и плотности для 100 % площади уплотняемого участка уже до-

статочно давно применяются в катках не только ведущих производителей из Европы и США, но уже и у китайских производителей. В России оснащение катков подобными системами находится, преимущественно, на стадии опытно-конструкторских разработок. Хотя в области, например, сельскохозяйственных машин (тракторов и комбайнов) функционал отечественных систем геопозиционирования, контроля параметров машин и даже беспилотного управления находится на высоком, даже по общемировым стандартам, уровне. Тем более странно, что у отечественных дорожных катков даже оснащение их датчиками скорости движения и частоты вибрации, необходимыми оператору для контроля технологических режимов работы, является пока еще нереализованной задачей.

Условия работы оператора (эргономические характеристики) существенно влияют на конкурентоспособность машин. В условиях дефицита квалифицированных операторов катков, комфорт является одним из факторов не только снижения утомляемости оператора, уменьшения риска аварийных ситуаций и повышения производительности работы, но удержания операторов катков в дорожно-строительных организациях, что влияет на предпочтения при покупке тех или иных дорожных катков с сопоставимыми техническими характеристиками. В этом направлении отечественным производителям вибрационных катков также предстоит еще много работы, хотя прогресс в области эргономических характеристик отечественных катков в последние годы явно наблюдается.

Надежность является важным фактором, влияющим на продажи машин. Для вибрационных катков, вибровозбудители которых генерируют вынуждающую силу до 200...500 кН при частоте колебаний в несколько десятков герц, обеспечение надежности в условиях таких высокодинамичных режимах нагружения имеет особое значение. Однако требование обеспечения соответствующего уровня локализации приводит к необходимости использования отечественных комплектующих изделий: двигателей, подшипников, компонентов гидропривода, редукторов, виброизоляторов, датчиков и т. д. К сожалению, последствия деиндустриализации 1990-х...2000-х годов в ряде отраслей нашей промышленности еще не преодолены и технический уровень, а также надежность отечественных комплектующих уступают зарубежным аналогам. Это неизбежно сказывается и на надежности и техническом уровне катков, в целом. Для преодоления этого отставания требуется большая всесторонняя работа, включающая, в т.ч., государственные программы восстановления соответствующих отраслей, например, двигателестроения. Пока что предпринимаемые государством и производителями компонентов усилия еще не принесли ожидаемого результата, но работа по исправлению ситуации с компонентами ведется на различных уровнях.

Технические характеристики дорожных катков и *конструктивные решения*, несомненно, также являются факторами, на которые обращается внимание при принятии решения о приобретении той или иной модели катка. По данному показателям отечественные катки уступают зарубежным аналогам.

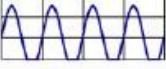
Так, например, в России не производятся осцилляторные катки. Также в РФ не производятся катки с возможностью независимого регулирования частоты и вынуждающей силы колебаний (обеспечивающие, например, возможность увеличения частоты колебаний при возрастании скорости движения без увеличения вынуждающей силы, что важно для предотвращения формирования «гребенки» на асфальтовом покрытии при увеличении скорости движения катка). Именно на базе машин с такими вибровозбудителями ведущие мировые производители выпускают «интеллектуальные» катки [2, 3]. Да и при использовании традиционных двухрежимных вибровозбудителей круговых колебаний, значения, например, вынуждающей силы и ширины вальца (напрямую влияющих на уплотняющую способность катков и производительность работ) отечественных вибрационных (в первую очередь, грунтовых) катков уступают характеристикам зарубежных аналогов сопоставимой массы. Это связано не только с ограниченными технологическими возможностями отечественных производителей и недостаточным техническим уровнем и номенклатурой применяемых компонентов (например, подшипников для высоконагруженных вибрационных машин), но и с недостаточным *уровнем и объемом научных исследований*, без которых невозможно создание вибрационных катков, обеспечивающих более высокие значения вынуждающей силы при сохранении прочности и долговечности конструкции, управляемости машины, обеспечения заданных характеристик воздействия на материал, обеспечивающего не разрушение, а уплотнение при недопущении опасных режимов колебаний вальца и рамы катка.

Для интенсификации уплотнения материалов, дорожные катки выполняют вибрационными. Вибровозбудителя катков генерируют круговые, направленные или осциллирующие гармонические колебания. Для грунтовых вибрационных катков вынуждающая сила вибровозбудителя может достигать 500 кН и более [4] при частоте колебаний 25...30 Гц, что приводит к очень высокому уровню динамических нагрузок на узлы конструкции катка и требованиям к системе виброизоляции, усложняет задачи обеспечения требуемой надежности машины.

При этом относительная вынуждающая сила, под которой понимается отношение вынуждающей силы вибровозбудителя к весу, приходящемуся на уплотняющий модуль, для грунтовых вибрационных катков находится в диапазоне 1,9...5,4 [4]. Это приводит к тому, что валец катка в процессе работы периодически отрывается от уплотняемого материала, а по окончании отскока наносит по материалу удар. С одной стороны, это повышает эффективность уплотнения материала, поскольку приводит к увеличению энергии, передаваемой в материал, возрастанию контактных напряжений и деформации поверхности. Но, с другой стороны, это существенно усложняет анализ динамики взаимодействия вальца катка с рамой машины и с уплотняемым материалом.

Ведущие зарубежные исследователи вибрационных катков выделяют несколько основных режимов колебаний вальца вибрационных катков: «посто-

янный контакт» («continuous contact»), «частичный отрыв» («partial uplift»), «двойной прыжок» («double jump») и др. [5] (см. рисунок).

Движение вальца	Контакт с грунтом	Режим работы	Характер колебаний	Работа с ССС	Плотность грунта	Скорость катка	Амплитуда
Периодическое	Постоянный контакт	Постоянный контакт		Да	Низкая	Быстро	Низкая
	Периодический отрыв от грунта	Периодический отрыв		Да	↓	↑	↓
		«Двойной прыжок»		Да			
		Раскачивание		Нет			
Хаотическое	Непериодический отрыв	Хаотическое движение		Нет	Высокая	Медленно	Высокая

Влияние свойств грунта и режима работы вибрационного катка на реализуемый режим колебаний вальца [5]

Наиболее эффективно уплотнение грунтов в поздней стадии режима «постоянный контакт» на границе возникновения режима «двойной прыжок» [6, 7]. Переход в режим «двойной прыжок» является нежелательным и даже опасным, поскольку в этом режиме резко возрастает амплитуда колебаний вальца и рамы катка, а также контактная сила между вальцом и уплотняемым материалом. Это приводит к увеличению динамических нагрузок на элементы катка, разуплотнению материала и другим негативным последствиям.

Для исследования влияния характеристик вибрационного катка (общей массы и ее распределения по осям, частоты и вынуждающей силы вибровозбудителя, массы вальца и его рамы, характеристик виброизоляторов и др.) и свойств уплотняемого грунта на реализацию того или иного режима колебаний (см. Рисунок 1), размах колебаний вальца и рамы, а также силу, передаваемую на уплотняемый материал, необходима разработка и исследование динамической модели многомассной колебательной системы, которую представляет из себя вибрационный каток, взаимодействующий с уплотняемым материалом. Данные задачи являлись предметом активных исследований за рубежом на протяжении последних 20...30 лет, что позволило накопить большой объем теоретических и экспериментальных результатов, необходимых для обоснования технических характеристик вибрационных катков, разработке конструкций и алгоритмов управления вибровозбудителями «интеллектуальных» катков, обладающих возможностью независимо регулировать частоту и вынуждающую силу колебаний в процессе движения катка по уплотняемому материалу, свойства которого изменяются не только от объекта к объекту и от прохода к проходу, но и в процессе движения катка в

рамках выполнения одного прохода (т. е. в реальном масштабе времени) на основании получаемой в процессе работы информации о состоянии уплотняемого материала под вальцом (системой непрерывного контроля качества уплотнения [3], интегрированной в «интеллектуальный» каток).

К сожалению, экономические и социальные потрясения, пережитые нашей страной после распада СССР, период деиндустриализации и последующие проблемы восстановления экономики привели к тому, что в России исследования по данным вопросам практически не выполнялись. Это привело к тому, что в настоящее время в России обоснование производителями технических характеристики вибрационных катков осуществляется по принципу копирования характеристик зарубежных аналогов с учетом имеющихся технологических ограничений и доступной компонентной базы. При этом попытки реализации энергонасыщенных вибрационных катков, обладающих высокими значениями относительной вынуждающей силы, сталкиваются не только с проблемами наличия необходимых отечественных компонентов (гидропривода, подшипников, датчиков, контроллеров и др.) или технологических ограничений (например, наличия станков, обеспечивающих обработку валцов большой ширины), но и с отсутствием компетенций по обоснованию большого количества взаимовлияющих параметров вибрационного катка на эффективность уплотнения различных дорожно-строительных материалов и реализуемые режимы колебаний. Лишь в последние годы данные вопросы стали затрагиваться в работах отечественных исследователей, например, [8–11]. Но данные исследования все еще отстают от достигнутого за рубежом уровня. В то же время, без наличия компетенций в данной сфере невозможно обретение технологического суверенитета в данном секторе строительно-дорожного машиностроения и разработка конкурентноспособных моделей отечественных вибрационных катков, способных занять более значимую долю рынка дорожных катков как в нашей стране, так и за ее пределами.

Обсуждение. Невысокая доля рынка, занимаемая отечественными производителями дорожных катков, формируют систему «отрицательной обратной связи», при которой невысокие объемы продаж препятствуют выделению ресурсов на НИОКР по повышению технического уровня и конкурентоспособности выпускаемых катков. Дополнительно на это накладывается большая работа по переработке конструкторской и технологической документации в связи с разрушением (после начала СВО) сложившихся цепочек поставок комплектующих у европейских производителей и необходимости многократного перехода на новых поставщиков с соответствующей адаптацией конструкции катков.

Государство внедряет различные инструменты защиты отечественных производителей, в том числе, допуск к участию в госзакупках только техники с определенным постоянно повышающимся уровнем локализации. Но необходимость увеличения использования отечественных комплектующих для обеспечения соответствия постоянно ужесточающимся требованиям к уровню локализации имеет и обратную сторону. В условиях, когда стоимость

отечественных комплектующих (например, дизельных двигателей и компонентов гидропривода) выше, а надежность ниже, чем у зарубежных аналогов, использование данных комплектующих позволяет участвовать отечественным каткам в госзакупках, но формирует негативный имидж (и по цене, и по надежности) в глазах гораздо большего количества потенциальных покупателей, имеющих возможность приобретения техники, минуя процедуру госзакупки. Также это вынуждает конструкторов и технологов разрабатывать конструкторскую документацию и технологическую оснастку под разные варианты комплектующих, что увеличивает объем работ и отвлекает от задач разработки перспективных конструкций.

Одним из вариантов решения задачи повышения технического уровня отечественных дорожных катков является расширение участия предприятий-производителей в грантах (например, Минпромторга) на софинансирование НИОКР. Также важно расширение взаимодействия с вузами. Ресурсы вузов можно и нужно использовать и для выполнения НИОКР, и для проработки различных вариантов модернизации конструкций катков. Это будет полезно и предприятиям, и вузам при меньшем уровне затрат, по сравнению с привлечением внешних специализированных контрактных соисполнителей или собственных ресурсов. К тому же, это позволит готовить потенциальные кадры для заводов, что также актуально.

И, конечно же, отрасли нужны новые идеи. В настоящее время за рубежом наблюдается активная «интеллектуализация» техники, расширение использования электроприводов, систем автономного управления и др. Применение электропривода позволяет упростить компоновку катков и увеличить их надежность. А «интеллектуализация» позволяет придать технике новые функциональные возможности, повысить качество выполняемых ею работ, снизить влияние «человеческого фактора» и др. Для освоения этих новаций требуется широкая кооперация предприятий, инновационно ориентированных компаний и вузов. Также крайне важно изменение денежно-кредитной политики государства для обеспечения возможности привлечения финансовых ресурсов для модернизации производства.

Заключение. В данной статье рассмотрены лишь некоторые факторы, влияющие на технический уровень отечественных дорожных катков и их конкурентоспособность с зарубежными аналогами. Не рассматривались факторы государственной денежно-кредитной политики, ценообразования, финансовых условий приобретения техники, сервисного сопровождения и другие, также оказывающие существенное влияние на объем продаж, развитие производства и занимаемую отечественными производителями долю российского рынка дорожных катков. Для решения задачи увеличения доли рынка, занимаемой отечественными производителями дорожных катков, проблемы повышения технического уровня выпускаемых машин, снижения стоимости привлечения финансовых ресурсов для развития, ценообразования, условий реализации (в т.ч., лизинга), продвижения на зарубежные рынки, организация сервисного сопровождения и другие необходимо решать совместно.

Увеличение доли российской техники на рынке дорожных катков позволит сгенерировать дополнительные ресурсы для осуществления уже самоподдерживающейся деятельности по совершенствованию конструкций и расширению технологических возможностей отечественных дорожных катков и укрепления технологического суверенитета России в данном сегменте дорожно-строительного машиностроения, имеющего, в том числе, важное значение для устойчивой реализации масштабных задач в области строительства автомобильных и железных дорог и объектов промышленности в Российской Федерации.

Список источников

- [1] Новоселов В. Западные производители предоставили нам окно возможностей. Воспользуемся моментом? Российский рынок дорожных катков. *Строительная техника и технологии*, 2024, № 5, с. 40–45. URL: <https://view.leafment.com/X016A929K0J870?p=43> (дата обращения 19.10.2025).
- [2] Тюремнов И.С., Чабуткин Е.К., Окулов Р.Д. «Интеллектуальные» катки «интеллектуальное» уплотнение. *Строительные и дорожные машины*, 2008, № 8, с. 2–7.
- [3] Тюремнов И.С. Обзор систем непрерывного контроля уплотнения грунта для вибрационных катков. Часть 3. Особенности функционирования и «интеллектуальное уплотнение». *Вестник ТОГУ*, 2016, № 2 (41), с. 115–122. URL: <http://pnu.edu.ru/vestnik/pub/articles/2226/> (дата обращения 19.10.2025).
- [4] Тюремнов И.С. Анализ технических характеристик различных типов ударно-вибрационных грунтоуплотняющих машин. *Вестник СибАДИ*, 2023, т. 20, № 6 (94), с. 706–716. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-706-716>
- [5] Adam D., Kopf F. Operational Devices for Compaction Optimization and Quality Control (Continuous Compaction Control & Light Falling Weight Device). Proceedings of the International Seminar on Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction, Athens, Greece, 2004, pp. 97–106.
- [6] Adam D., Pistol J. Dynamic roller compaction for earthworks and roller-integrated continuous compaction control: state of the art overview and recent developments. *Conferenze di Geotecnica di Torino, XXIV Ciclo*, 2016, № Ccc, pp. 1–41.
- [7] Andereg R., Kaufmann K. Intelligent compaction with vibratory rollers: feedback control systems in automatic compaction and compaction control. *Transportation Research*, 2004, vol. 1868, pp. 124–134.
- [8] Тюремнов И.С. Исследование влияния динамических характеристик вибрационного катка на особенности взаимодействия элементов системы «рама-валец-грунт». *Вестник СибАДИ*, 2025, т. 22 (3), с. 396–416. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-396-416>
- [9] Шишкин Е.А., Смоляков А.А. Моделирование взаимодействия вибрационного вальца дорожного катка с уплотняемым грунтом. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*, 2024, № 26, с. 60–67. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2024-26-60-67>
- [10] Тюремнов И.С., Морев А.С., Краюшкин А.С. Обоснование выбора значений коэффициентов веса показателя уплотнения для систем непрерывного контроля уплотнения грунта для вибрационных катков. *Динамика систем, механизмов и машин*, 2020, т. 8, № 1, с. 104–110. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44394237_75837991.pdf (дата обращения 19.10.2025).
- [11] Шишкин Е.А., Смоляков А.А. Исследование спектра ускорения вибрационного вальца в процессе уплотнения грунта. *Вестник СибАДИ*, 2025, т. 22 (2), с. 182–192. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-182-192>