



Костельов М. П.,
к. т. н., главный технолог,
(ЗАО «ВАД», г. Санкт-Петербург)

Об авторе:

В 1959 г. закончил Ленинградский политехнический институт (ныне Санкт-Петербургский технический университет). Работал одним из руководителей Угловского комбината по производству строительных материалов (Новгородская обл.)

С конца 1960 г. в течение 33 лет работал в Ленинградском филиале СоюздорНИИ, в том числе 22 года руководил лабораторией технологии и механизации дорожно-строительных работ. В 1968 г. защитил кандидатскую диссертацию.

В 1994 г. переведен в Дорожный комитет Ленинградской области советником Председателя. В 1998 г. перешел на работу в фирму «Дорстройпроект» на должность главного технолога, а с 2003 г. трудится в такой же должности в фирме ЗАО «ВАД».

Является одним из инициаторов и научным редактором полезного для дорожников ежегодного издания каталога-справочника «Дорожная техника и технологии», выпускаемого уже 10 лет.

Неутомимый популяризатор высокого дорожного качества, современных машин и новых технологий. Имеет более 300 публикаций научного и прикладного характера.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ВИБРОКАТКОВ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Эксплуатационная судьба автомобильной дороги в значительной степени зависит от качественного и эффективного уплотнения всех материалов, составляющих ее конструкцию, в том числе асфальтобетонных слоев покрытия и верхней части основания. Любой дорожник, занимающийся организацией и реализацией асфальтобетонных работ, каждый раз и для каждого конкретного объекта должен решать, по крайней мере, три задачи — чем (какими катками), как (технологические параметры и приемы) и с какими издержками (стоимость) будет выполнена важная операция уплотнения.

Найденные решения этих задач отражаются изначально в разрабатываемых технологических схемах, регламентах или проектах производства работ (ППР). При этом критерии и цели принимаемых решений должны быть следующими:

- первоначальный выбор наиболее подходящих статических или вибрационных катков необходимо производить по их *уплотняющей способности*, которая должна со-

ответствовать толщине слоя и типу намеченной к укладке асфальтобетонной смеси (многощебенистая, малощебенистая, песчаная или ЩМА на обычном, улучшенном или на модифицированном полимерами битуме соответствующей вязкости — пенетрации, крупнозернистая или мелкозернистая, плотная или пористая и т.п.) и которая должна гарантированно обеспечивать потребное качество уплотнения;

- второй критерий выбора катка или катков (*функционально-технологическое соответствие или пригодность*) преследует цель своевременно (в рамках оптимальных температур горячей смеси) и качественно выполнять тот объем и выдерживать тот темп (производительность) работы по уплотнению, который задает укладчик, являющийся ведущей машиной в отряде средств по устройству верхней части дорожной одежды;

- *минимизация затрат* сначала на приобретение (покупку), а затем и на эксплуатацию каждого катка, выбранного по первым двум критериям из имеющегося парка уплотняющих средств (зачем покупать и иметь в своем парке каток или катки, плохо соответствующие основным уплотняемым материалам, толщинам их слоев, объемам и видам работ по укатке, или зачем приобретать крупный, тяжелый и дорогой каток, если ту же самую работу с высоким качеством и почти с той же производительностью может выполнить менее крупный, более легкий и потому более дешевый каток?).

Уплотняющая способность катка.

Под уплотняющей способностью статического или вибрационного катка следует понимать ту *толщину слоя* конкретного асфальтобетона (песчаный, малощебенистый, щебенистый, ЩМА), которую каток может своими силовыми воздействиями за рациональные с технологической точки зрения 6–10 или в среднем 8 своих повторных проходов, на оптимальной рабочей скорости и в пределах времени изменения температуры смеси от 140–130 до 70–60 °С сможет сформировать сжатием (уплотнить) заданный слой до требуемых минимальных норм качества или выше (минимальный ко-





На качестве укатки асфальтобетона не следует «экономить»

эффицент уплотнения 0,99 для щебенистых плотных смесей, 0,98 — малощебенистых, песчаных и пористых, 0,96 — для покрытий из любых смесей на тротуарах, велосипедных или пешеходных дорожках, других вспомогательных площадках).

К сожалению, ни один представитель любой фирмы, выпускающей дорожные катки для асфальтобетона и продающей их в России, не может (или не хочет) совершенно однозначно указать толщину слоя конкретного типа и состава асфальтобетона, которую предлагаемый или продаваемый виброкаток способен качественно уплотнить.

Ответы на такого рода вопросы следуют, как правило, уклончивые, расплывчатые и не очень конкретные с дежурной фразой в конце о необходимости устанавливать такую толщину слоя пробным путем на практике. Эта неопределенность и осторожность позволяют фирмам избегать рисков на предъявление возможных претензий или исков.

Иногда в рекламных и технических изданиях ряда фирм можно прямо или косвенным путем обнаружить полезную, но в одних случаях странную, а в других случаях более или менее правдивую информацию по этому вопросу. Так, судя по графикам зависимости часовой производительности виброкатка от толщины уплотняемого

слоя асфальтобетона, помещенным в одном из рекламных буклетов фирмы Дупарас за 2007 г., ее малогабаритные (тротуарные) модели весом 2,3–3,9 т способны уплотнять за 8–12 проходов асфальтобетон слоями от 2 до 5 см, средние тандемные образцы (вес 7,5–8,6 т) за 6–10 проходов — от 2–3 до 16 см, а тяжелые модели (10,5–16,8 т) за 4–8 проходов — от 2 до 19 см. Удивительные возможности и универсальность виброкатков фирмы Дупарас.

Более осторожную и умеренную позицию в оценке уплотняющих способностей и возможностей своих виброкатков демонстрирует фирма Bomag, утверждающая, что ее малогабаритные модели (вес 1,5–4 т) целесообразнее всего использовать на уплотнении асфальтобетона слоями 2–4 см, средние образцы (вес 7–9 т) — слоями 6–8 см, тяжелые (10 т и более) — 10–14 см.

Но ближе всех к пониманию существа вопроса о толщине уплотняемого слоя асфальтобетона и необходимости его решения с учетом силовых воздействий виброкатка, заметно влияющего на качество и долговечность дорожных покрытий и оснований, на возможное дальнейшее совершенствование технологии и улучшение функциональных параметров са-

мых вибрационных средств уплотнения, подошла американская фирма Ingersoll-Rand (I-R), владельцем которой недавно стала не менее известная в России фирма Volvo (Швеция).

Практические рекомендации 2005 г. по использованию на различных асфальтобетонных слоях (от 2,5 до 15–20 см) ее виброкатков подтверждают правильный подход (табл. 1), в основу которого положена разработанная система регулирования динамического воздействия вальца в зависимости от толщины слоя. С ростом последней рекомендовано увеличивать центробежную силу вальца за счет установки эксцентрика вибровозбудителя в соответствующее положение от 1 до 8 (чем больше номер, тем выше центробежная сила). С совершенствованием технологии уплотнения усложняется и современная техника.

А как же все было просто и ясно в теперь уже далекие времена (каких-нибудь лет 40–50 назад), когда дорожники России применяли одну единственную статическую технологию укатки асфальтобетона. И для ее реализации существовал стандартный набор катков — легкий (вес 3–5 т, удельное линейное давление $q_n=20-30$ кгс/см), средний (6–8 т, $q_n=40-60$ кгс/см) и тяжелый (9–13 т, $q_n=60-80$ кгс/см). Были еще так-

Таблица 1. Рекомендуемые фирмой I-R из США (теперь Volvo, Швеция) силовые воздействия (положение эксцентрика вибратора) и амплитуды колебаний вальца виброкатка в зависимости от толщины слоя уплотнения

Уплотняемый слой дорожной одежды	Толщина слоя, h_0 , мм (дюймы)	Размер максимальной фракции щебня, мм	Амплитуда колебаний вальца A_{∞} , мм	Положение эксцентрика вибратора на катке I-R	Отношение h_0/A_{∞}
Верхний слой покрытия (Surface)	25-75 (1"-3")	19-25 (20-25)*	0,32-0,46	1,2,3	78-163
Нижний слой покрытия (Intermediate — средний слой покрытия, США)	75-125 (3"-5")	25-37,5 (20-40)*	0,46-0,64	3,4,5	163-195
Верхний а/б слой основания (Base — основание или третий слой покрытия)	150-200 (6"-8")	50 (20-40)*	0,76-0,91	6,7,8	197-220
Щебеночное основание (Rich Bottom — тяжелый щебеночный слой)	75-150 (3"-6")	50 (40-70)*	0,64-0,76	5,6,7	117-198

*) Фракции, используемые в России

же сверхтяжелые катки (вес 15 т и более с $q_n=90-120$ кгс/см) для уплотнения щебеночных оснований.

Указанный набор статических катков использовался в дорожной отрасли всегда и везде — на песчаных и щебенистых смесях, на тонких и толстых слоях. Поэтому и результат по качеству получался разным и нередко низким. Очевидно, в ту пору все негласно полагали и соглашались, что с житейской точки зрения не такая уж существенная разница между песчаными и щебенистыми смесями либо между слоями 5 и 8 или 7 и 10 см, чтобы учитывать это при уплотнении.

И тем не менее, дорожная практика и наблюдения грамотных специалистов и ученых тех лет оставили нынешним дорожникам ряд результатов и выводов, которые актуальны и полезны сегодня. Во-первых, на качественный результат укатки асфальтобетона оказывают влияние размеры вальца катка (предложили критерий оценки эффективности катка в виде удельного линейного давления вальца q_n , забыв, правда, при этом о влиянии его диаметра).

Во-вторых, эффективность и качество уплотнения асфальтобетонной смеси в значительной степени оказались зависящими от толщины укатываемого слоя. Чем тоньше слой, тем он хуже уплотняется при постоянном количестве проходов катка. При толстом слое его нижняя часть оказывается особенно недоуплотненной. Поэтому в то время для статической технологии уплотнения и упомянутого набора катков (легкий, средний, тяжелый) была выдана практическая рекомендация о том, что слой уплотнения должен быть не более 5 см.

В-третьих, установлено, что в практических случаях удачной по качеству укатки асфальтобетона упомянутыми тремя типами статических катков общее количество их проходов должно составлять не менее 20–24. Это подтвердилось и используется в настоящее время фирмой ЗАО «ВАД»

при устройстве покрытий на мостах и путепроводах, а также при статическом уплотнении ЩМА.

В-четвертых, ряд специалистов того времени пришли к заключению, что самым разумным, правильным и плодотворным в технологии уплотнения для повышения качества укатки асфальтобетона может оказаться подбор катков по контактному давлению их валцов с учетом прочностных свойств самого асфальтобетона. Один из ведущих тогда дорожных специалистов страны проф. Иванов Н. Н. даже указал следующие допускаемые пределы таких контактных давлений катков:

- асфальтобетон щебенистый
 - начало укатки при 100 °С с давлением 5 кгс/см²;
 - конец укатки при 60 °С с давлением 30 кгс/см²;
- асфальтобетон песчаный
 - начало укатки при 100 °С с давлением 3 кгс/см²;
 - конец укатки при 60 °С с давлением 20 кгс/см²;

Однако конструкторы дорожно-строительных машин и сами машиностроительные заводы не смогли продуктивно воспользоваться такой полезной рекомендацией для создания более совершенных в функциональном плане дорожных катков, так как не знали, как правильно определять контактные давления под жестким вальцом. И продолжают до сих пор пользоваться для этих целей параметром удельного линейного давления, в том числе и при создании современных виброкатков.

Появление виброкатков и технологии ударно-вибрационного уплотнения дорожно-строительных материалов стало крупным технологическим шагом в дорожной отрасли, повлиявшим на качество и производительность этой операции. Особенно благотворное влияние эта технология и техника оказали на устройство слоев по-

крытий и оснований дорог из горячего быстро остывающего асфальтобетона.

Если в статической технологии в одном звене уплотняющих средств одновременно использовались три катка разного веса и габаритов и укатку горячего асфальтобетона разрешалось выполнять только при температуре наружного воздуха не ниже +5 °С (весна) и +10 °С (осень), то для реализации ударно-вибрационной технологии достаточно одного виброкатка с надлежащими параметрами веса и вибрации, а укатку горячего асфальтобетона с требуемым качеством стало возможным выполнять при пониженных и даже отрицательных температурах воздуха (до -10 °С).

До полного уплотнения слоя асфальтобетона три статических катка должны сделать не менее 20–24 проходов по одному месту, а вибрационный каток — не более 12–14 даже с учетом предварительной статической подкатки смеси и незначительной и тоже статической ее прикатки на заключительном этапе операции. Поэтому вибрационная технология в 1,5–2 раза производительнее статической, да и стоимость вибрационной укатки ниже.

Как говорится, технологический прогресс «на лицо», и можно было бы «почивать на лаврах». Однако опыт эксплуатации и анализ параметров реальных моделей нынешних виброкатков и результатов их работы показывают, что у них и у самой ударно-вибрационной технологии есть потенциальные возможности для функционального улучшения и устранения обнаруженных некоторых их недостатков.

Главной целью такого усовершенствования является обеспечение стабильно высокого качества уплотнения асфальтобетона с повышением долговечности покрытий автомобильных дорог. Но для этого нужно переходить на новый современный путь и принцип создания и функциональной оценки виброкатков с назначением более обоснованных и рациональных их основных параметров (вес, размеры валцов, центробежная сила, амплитуда и частота колебаний, рабочие скорости, оптимальные диапазоны и возможности регулирования веса и центробежной силы и др.) с обязательным учетом типа, состояния, свойств и толщины слоя асфальтобетона, т.е. многое из того, что не учитывает критерий удельного линейного давления.

С точки зрения физики, строительной механики и сопротивления материалов, классическое понимание процесса уплотнения асфальтобетона вальцом дорожного катка сводится к обычному его деформированию штампом, но криволинейной формы, под воздействием статических или динамических сил с накоплением остаточных деформаций асфальтобетона за опреде-



«Боевой отряд» катков на Невском проспекте в 2008 году (Санкт-Петербург)

ленное количество повторяющихся таких воздействий.

Чтобы правильно понять (разобраться), оценивать и при необходимости регулировать этот процесс деформирования, нужно было, как говорится, «поместить в один флакон» контактные давления штампа (дуга вальца) и деформативно-прочностные показатели свойств уплотняемого горячего асфальтобетона. И для такой процедуры («поместить в один флакон») в фирме «ВАД» были поставлены и успешно решены четыре задачи:

1) более или менее достоверно определять общую силу воздействия виброкатка (с вальцом статического катка все просто и ясно) на поверхность ограничителя колебаний его вальца (ограничителем служит слой горячего асфальтобетона) с учетом особенностей таких колебаний за период действия динамической силы, а также с учетом упругой реакции слоя асфальтобетона, непрерывно повышающей эту силу по мере снижения температуры и повышения плотности асфальтобетона;

2) дать или вывести аналитическую зависимость для вычисления контактных давлений жесткого вальца на поверхность укатки с учетом саморегулируемого характера взаимодействия системы «криволинейный штамп — слой деформируемого материала»;

3) собрать, изучить и обобщить сведения о прочностных и деформативных свойствах разных типов и составов горячего асфальтобетона, подвергаемого уплотнению;

4) разработать для дорожной технологии уплотнения инженерную методику оценки уплотняющей способности, эффективности и качества работы статических и вибрационных катков на основе сравнения их контактных давлений с деформативно-прочностными показателями свойств асфальтобетона; эта методика должна быть пригодной для различных типов катков и материалов (грунт, щебень, асфальтобетон) и в то же время одинаково полезной как для дорожников, выполняющих операции уплотнения, так и для создателей — производителей статических и вибрационных катков.

Основные итоги и установленные зависимости (1) — (5) из решения указанных задач представлены в сжатом виде на схеме рис. 1. Более детально с соответствующими пояснениями и комментариями они неоднократно публиковались [1, 2].

При наличии данных по деформативно-прочностным характеристикам горячего и еще рыхлого асфальтобетона (начало уплотнения) или почти плотного и заметно остывшего (завершение укатки) по аналитическим формулам (1) — (5) можно находить не только контактные давления вальцов, но и определять величины осадок поверхности укатки или относительную деформацию слоя. Причем, указанные за-

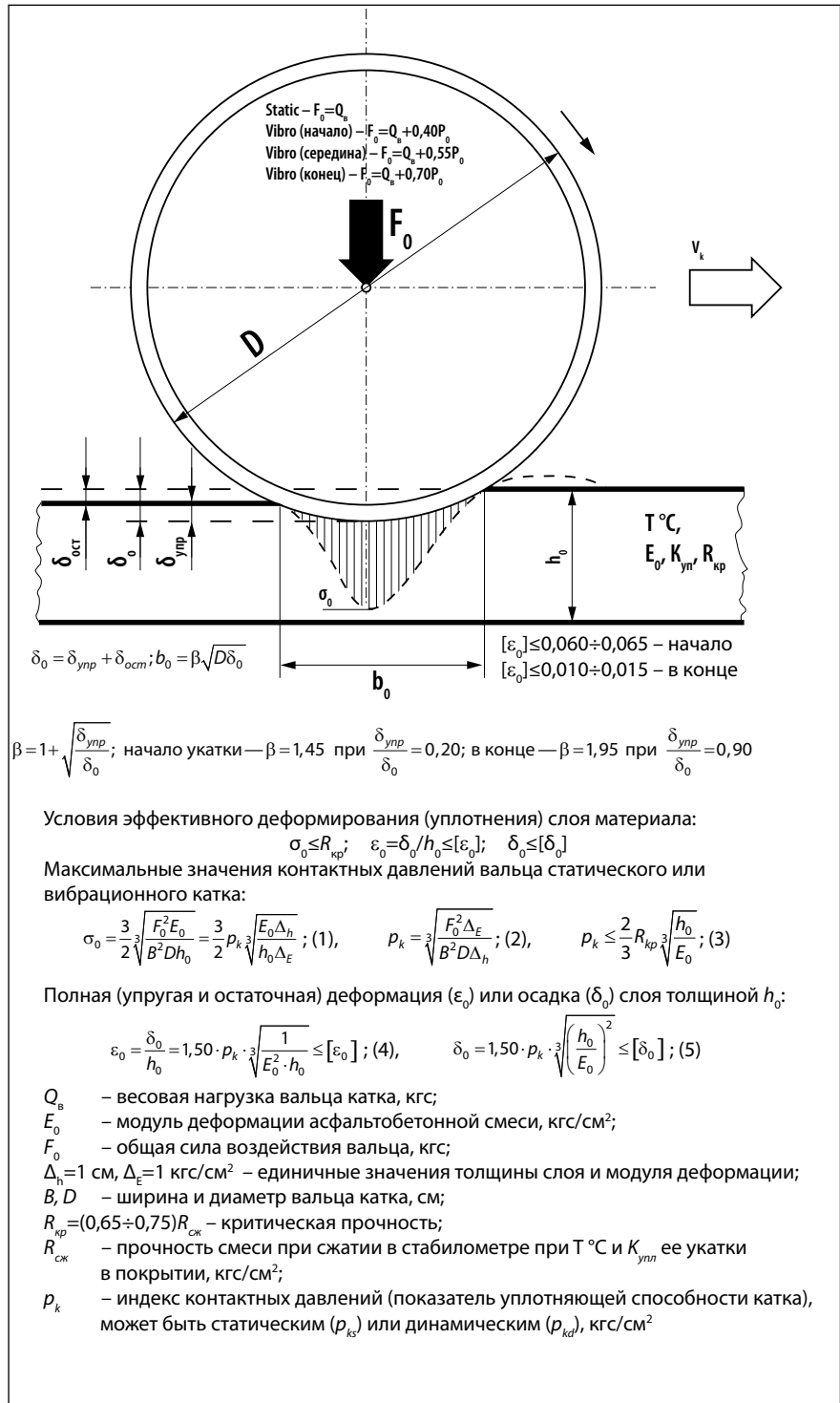


Рис. 1. Схема уплотняющего воздействия гладкого вальца катка на слой материала и аналитические зависимости

висимости оказались универсальными, так как пригодны для статических и вибрационных катков с гладкими, кулачковыми, решетчатыми, сегментными и другими формами вальцов.

Достаточно удачным и полезным следует признать выбор критерия оценки уплотняющей способности любых катков, в качестве которого принят индекс контактных давле-

ний их вальцов, без труда и сложностей вычисляемый по формуле (2) с использованием паспортных данных катков.

Это с одной стороны (каток), а с другой стороны должен быть асфальтобетон (материал), по характеристикам которого по формуле (3) находится оптимальный индекс контактных давлений для наилучшего уплотнения конкретно-

го асфальтобетона заданной толщины слоя. По значению найденного оптимального индекса и подбирается статический или вибрационный каток с соответствующим своим индексом.

Для многощелебнистых плотных асфальтобетонных смесей, в подавляющем большинстве случаев укладываемых в верхние слои дорожных покрытий, разработаны и успешно используются в практической работе ЗАО «ВАД» в течение уже 4–5 лет подробные графики по выбору оптимальных значений индексов контактных давлений для слоев от 2–3 до 15 см и разных стадий, фаз или этапов уплотнения (начало, середина, окончание) [1, 2].

С помощью разработанной методологии можно заранее (до выполнения асфальтобетонных работ на дороге) решать и другие задачи. Во-первых, для каждого выпущенного любой фирмой и уже эксплуатируемого виброкатка установить его уплотняющую способность (оптимальную толщину эффективно и высококачественно уплотняемого слоя конкретного типа и состояния асфальтобетона), что может оказаться полезным дорожникам при покупке или реальном использовании этого виброкатка. Такими данными располагает ЗАО «ВАД» для всех прежних и новых виброкатков, выпускаемых фирмами Ammann, Bomag, Caterpillar, Дунарас, Hamm, Marini, Паскат, Sakai, Volvo (I-R) и др. Некоторый детальный анализ этих сведений по отдельным фирмам будет приведен далее.

И, во-вторых, излагаемая методология способна помочь фирмам-разработчикам новых конкурентоспособных образцов ви-

брационных или статических катков конструировать их с более оптимальными и эффективными параметрами, чем это сейчас продолжают делать большинство из них по критерию удельного линейного давления, являющегося по существу условным и не учитывающим целый ряд влияющих факторов и параметров как катка, так и асфальтобетона.

Чтобы как-то хотя бы уменьшить недостатки этого критерия, известный европейский специалист по асфальтобетону Nijboer произвел некоторый его «косметический ремонт» и предложил вместо него другой показатель в виде числа, коэффициента или индекса N (Nijboer number) вальца катка статического типа

$$N = \frac{Q_b}{BD}, \text{ кгс/см}^2 \quad (6)$$

Конечно, этот индекс N никакого отношения не имеет к реальным значениям контактных давлений катка. Однако он «пришелся ко двору» немецкой фирмы Намт, которая при создании своих виброкатков руководствуется рекомендациями Nijboer [3]. В частности, он полагал, что в случае динамического уплотнения асфальтобетона статический коэффициент или индекс N виброкатка не должен превышать 0,25 кгс/см², а статическое уплотнение целесообразно при $N=0,40$ кгс/см².

Сама же фирма Намт считает, что индекс N должен быть 0,15–0,17 кгс/см² для малогабаритных виброкатков весом 1,5–4,0 т и в пределах 0,20–0,24 кгс/см² для тандемных более тяжелых их моделей (табл. 2). При этом ни Nijboer, ни фирма Намт не учи-

тывают влияния толщины слоя и динамической силы виброкатка на механику укатки и результат уплотнения. Они оперируют в основном приближенными данными только для назначения или выбора статических параметров виброкатка. А вот вибрационные параметры (вес колеблющейся массы вальца, ее амплитуда и частота колебаний, центробежная или возмущающая сила) устанавливаются либо интуитивно, либо из накопленного опыта, приобретенного по принципу пробы и ошибок.

Справедливости ради нельзя также не отметить ранее делавшихся попыток использовать контактные давления катков для их совершенствования и повышения эффективности и качества технологии уплотнения, в том числе асфальтобетона. В частности, следует указать на серьезные, обширные и результативные исследования по этому вопросу проф. Хархуты Н.Я. и его учеников, к которым по праву долгой совместной работы причисляет себя и автор настоящей публикации. Используя теорию Герца-Беляева местного смятия металла катящегося железнодорожного колеса по рельсу под воздействием контактных давлений, проф. Хархутой Н.Я., применительно к уплотнению дорожно-строительных материалов, была предложена следующая зависимость для нахождения максимальных контактных давлений гладко-вальцового статического катка

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{q_n E_0}{R}} \approx 1,4 \sqrt{\frac{Q_n E_0}{BD}}, \text{ кгс/см}^2 \quad (7)$$

В отличие от критерия удельного линейного давления ($q_n = Q_n/B$) в этой формуле (7) проф. Хархутой Н.Я. учтены оба размера вальца (ширина B и диаметр $D=2R$), правда, с одинаковой степенью влияния на контактные давления, а также деформативные свойства уплотняемого материала через его модуль деформации (E_0). Нет в ней только прочностных показателей материала и толщины уплотняемого слоя.

Очевидно, по этой причине контактные давления вальца одного и того же катка на слое 5 и 10 или 15 см оказываются по формуле (7) одинаковыми, что явно противоречит обычной логике и простому подсчету. На толстом слое осадка поверхности материала всегда больше, поэтому больше размеры контактной дуги вальца и самой площади контакта, что должно приводить к снижению контактных давлений или, наоборот, к их увеличению на тонком слое.

Изъян приведенной зависимости состоит еще и в том, что в теории Герца-Беляева контактная площадка в зоне смятия колеса и рельса принята плоской, т.е. деформирование материала под нагрузочной плоской площадкой (плоский штамп) происходит без изменения ее площади и самих контактных давлений.

В случае же деформирования, к примеру, асфальтобетона жестким вальцом катка (криволинейный штамп) размеры кон-

Таблица 2 Основные функциональные показатели виброкатков фирмы Намт и критерии оценки их уплотняющей способности на асфальтобетоне

Модель виброкатка фирмы Намт	Исходные паспортные параметры виброкатка					Критерии оценки уплотняющей способности в статике			Оптимальный слой уплотнения (см) щебенист. а/б по критерию r_k	
	Q, т	Ширина вальца B×D, мм	$P_{0,тс}$	$A_{0,мм}$	f, Гц	Линейное давление q_n , кг/см ²	Индекс Nijboer N, кг/см ²	Индекс контактных давлений, $r_{кг}$, кг/см ²	статика	Вибрация слабая сильная
HD 10	2,45	1000×700	2,5	0,49	55	12,3	0,18	1,29	≈2,0	≈3,0
HD13VV	3,68	1300×900	4,0 6,5	0,32 0,52	61 61	14,3	0,16	1,32	2,0	3,5 6,5
HD14VV	4,2	1380×898	4,6 7,3	0,35 0,55	62 62	15,2	0,17	1,37	2-2,5	4-4,5 7,5
HD70	7,27	1500×1140	6,2 7,6	0,35 0,62	58 48	24,5	0,22	1,74	5,0	6-6,5 8,0
HD75	7,68	1680×1140	6,2 7,6	0,33 0,61	58 48	23,1	0,20	1,60	4,0	5-5,5 6,5
HD90	9,2	1680×1200	5,9 7,5	0,36 0,65	50 42	27,4	0,23	1,84	6,0	5,5 7,0
HD110	10,54	1680×1200	9,7 11,7	0,47 0,81	50 42	31,5	0,26	2,02	8,0	10-10,5 13
HD120VV	12,8	1980×1400	12,4 14,9	0,44 0,82	50 40	32,6	0,23	1,97	7,5	11,0 13,0
HD130	13,8	2140×1400	13,9 19,4	0,41 0,81	50 42	32,7	0,23	1,97	7,5	10,5 15-15,5
HD140VV	13,4	2140×1400	12,4 14,9	0,41 0,77	50 40	31,5	0,23	1,92	7,0	10 12
Заказ ЗАО ВАД	5,6÷5,8	(1430÷1420) ×(950÷1000)	3,0 4,3	0,35 0,50	46 46	≈20,0	0,20÷0,21	1,60-1,62	4,0	5-5,5 7-8

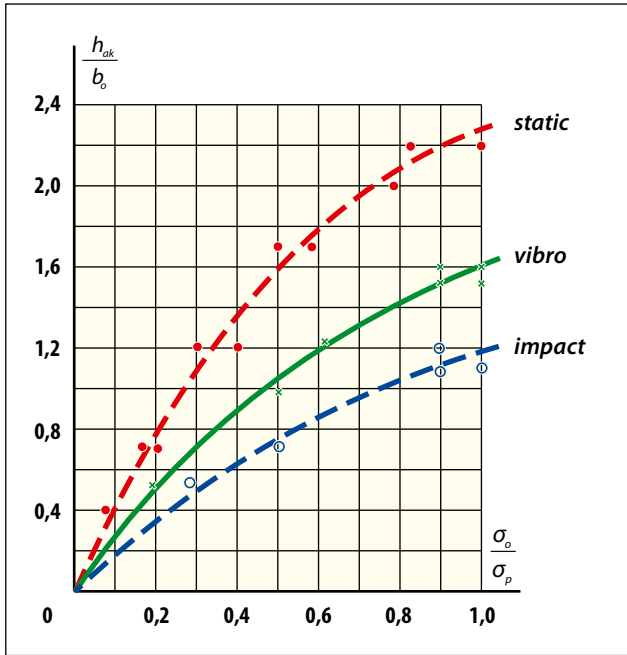


Рис. 2. Зависимость глубины активной зоны $h_{ак}$ (в относительных единицах) от контактных давлений (в относительных единицах) и характера уплотняющих нагрузок

тактной дуги и контактной площадки непрерывно изменяются пропорционально изменению величины осадки поверхности асфальтобетона. Материал уплотнения как бы самопроизвольно регулирует величину контактных давлений вальца за счет изменения площади контакта до момента наступления равновесия с его прочностными показателями.

К подобным саморегулируемым системам можно отнести пару «пневмоколесо автомобиля — поверхность дороги». Только здесь саморегулирующим элементом является шина, которая при изменении нагрузки на нее (веса автомобиля и перевозимого груза в его кузове) сминается больше или меньше, увеличивая или уменьшая размер контактной площадки. Вот поэтому контактное давление пневмоколеса автомобиля на поверхность дорожного покрытия при любой весовой нагрузке на колесо (в пределах его грузоподъемности) практически остается почти всегда одинаковым и близким к давлению воздуха в шине.

По этой же причине невозможно создать высокие контактные давления шины пневмоколесного катка и реализовать высокие показатели качества уплотнения асфальтобетона при использовании только этого уплотняющего средства. Подобного саморегулирования нет у пары «плоский штамп (трамбуемая плита, башмак вибротрамбовки, подошва виброплиты) — уплотняемый материал». Здесь контактные давления, определяемые площадью штампа и его весовой или динамической нагрузкой, не зависят от осадки поверхности материала или глубины погружения штампа, как это имеет место

и в теории сопротивления материалов и тел упругому и пластическому их деформированию давно существует и используется понятие активной зоны или активной глубины (толщины) действия силы или контактного давления, в которой сосредоточено до 80–85% всей возникшей деформации или осадки. Остальные ее 15–20% развиваются в более удаленной от места нагружения части материала, простирающейся на расстояние до (3,5–4) d_w или b_0 , где d_w или b_0 — диаметр круглой или меньший размер прямоугольной площадки (штампа) нагружения материала.

На основании накопленных знаний и многочисленных результатов опытно-экспериментальных исследований и работ по уплотнению дорожно-строительных материалов пневмошинными и вибрационными катками и трамбуемыми плитами, проводившихся творческой группой под руководством проф. Хархуты Н.Я., были установлены обобщенные зависимости глубины (толщины) активной зоны $h_{ак}$ качественного уплотнения этих материалов (в долях d_w или b_0) от уровня контактных давлений σ_0 на площадке нагружения (в долях предела прочности σ_p) и характера действующего нагружения — static, vibro, impact (рис. 2).

Любопытно, что с помощью этой графической зависимости достаточно просто можно объяснить удивительные или даже феноменальные на первый взгляд результаты уплотнения, например, связных грунтов толщиной слоя до 1,0 м новым тяжелым и мощным виброкатком фирмы Bomag с сегментным (полигональным) вальцом

у его криволинейного «брата» (вальца).

Это принципиально важное положение нашло свое отражение в различиях аналитических выражений (1) на схеме рис. 1 и (7).

Не менее важным, может быть, тоже принципиальным с точки зрения понимания механизма и степени деформирования или уплотнения любого слоя асфальтобетона вальцом катка является использование в разработанной теории и методике термина и представления об оптимальном слое или оптимальной глубине (слой оптимальной толщины, оптимальный индекс контактных давлений для конкретного слоя материала).

В механике грунтов, строительной механике

или эффективность давно запатентованной технологии Луи Менара подготовки строительных площадок сверхтяжелыми трамбуемыми плитами (весом до 40–50 т, высота сброса до 40–50 м), улучшающими прочностные и деформативные свойства слабых просадочных грунтов на глубину до 10–15 м.

С использованием этого графика и понятия оптимальной толщины слоя уплотняемого асфальтобетона (глубина или толщина активной зоны) легко объяснить также многие удачные и неудачные результаты работы как статических, так и вибрационных катков, отмечаемые дорожниками на протяжении многих лет.

Глубина активной зоны действия контактных давлений вальца катка (или оптимальная толщина $h_{он}$ уплотняемого слоя асфальтобетона) в соответствии с графиком рис. 2 зависит как от силовых воздействий вальца (уровня его контактных давлений по отношению к пределу прочности горячей асфальтобетонной смеси), так и от размера контактной площадки, передающей эти контактные давления асфальтобетону, т.е. от размера вальцовой дуги контакта b_0 .

При проходах катка по еще рыхлому и горячему слою асфальтобетона (начало укатки) его осадка δ_0 является наибольшей, и потому при неизменном диаметре вальца D размер b_0 оказывается тоже наибольшим. Поэтому глубина активной зоны или толщина прорабатываемого оптимального слоя $h_{он}$ становится достаточно большой. Отсюда и нет опасений, что реальная толщина слоя h_0 на начальном этапе окажется больше $h_{он}$ с плохой или недостаточной проработкой уплотнением его нижней части.

Такие опасения могут возникнуть на завершающем этапе укатки почти уже плотного и остывшего асфальтобетона (конец уплотнения), на котором осадка минимальна и глубина активной зоны (оптимальный слой) сокращается в 1,5–2 раза. Поэтому итоговую уплотняющую способность катка (толщину уплотняемого им слоя) логично устанавливать по этапам укатки ближе к концу, на которых и формируются или реализуются окончательное более высокое качество уплотнения слоя асфальтобетона.

Так как оптимальная толщина уплотняемого слоя $h_{он}$ во многом определяется размером дуги контакта b_0 и этот размер зависит от осадки слоя δ_0 и диаметра вальца катка D , реальные размеры которого колеблются в довольно широком диапазоне (от 600–700 до 1400–1500 мм), то небесполезно установить взаимосвязь между D и $h_{он}$. Теоретически она подчиняется следующей зависимости

$$D \geq \frac{h_{он}}{\beta^2 (h_{ак} / b_0)^2 [\varepsilon_0]} \quad (8)$$

где $h_{ак}/b_0$ — принимается по графику рис. 2 в соответствии с реальным σ_0/σ_p ;

$\beta = 1 + \sqrt{\delta_{ynp} / \delta_0}$ — см. рис. 1; в конце укатки $\delta_{ynp} / \delta_0 \approx 0,90$ и поэтому $\beta \approx 1,95$;

Таблица 3.

Диаметр вальца D, мм		700	950–1000	1120–1140	1200–1220	1300	1400	1527
Толщина прорабатываемого слоя h_{on} (см), не более при	$\sigma_0 = 0,5\sigma_p$ $D \geq 20,5h_{on}$	3,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
	$\sigma_0 = 0,75\sigma_p$ $D \geq 11,5h_{on}$	6,0	8,5	10,0	10,5	11,5	12,0	13,0
	$\sigma_0 = \sigma_p$ $D \geq 8,8h_{on}$	8,0	11,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,5

$[\varepsilon_0]$ — допускаемая величина относительной деформации слоя; по условиям недопущения появления на поверхности укатки различных дефектов (трещины, прорезы, сдвиги, волнообразные неровности), обусловленных избыточными давлениями катка и низкой прочностью асфальтобетона при его растяжении (в несколько раз ниже прочности при сжатии), $[\varepsilon_0] \leq 0,060 - 0,065$ в начальной фазе укатки и $[\varepsilon_0] \leq 0,010 - 0,015$ на конечном этапе (при чисто упругом же деформировании асфальтобетона его разрушение может происходить при $[\varepsilon_0] \geq 0,001$ или 0,1 %); по этим же причинам катку целесообразно создавать давления не более $R_{кр}$, в пределах 70–75% от σ_p для многощелебнистых и 65–70% для малощелебнистых и песчаных асфальтобетонных смесей.

По зависимости (8) каждый каток с диаметром его вальцов D и максимальным контактным давлением σ_0 способен эффективно уплотнить определенную предельную толщину оптимального слоя многощелебнистого асфальтобетона, приведенную в табл. 3 (с некоторыми округлениями).

В практическом подборе статического или вибрационного катка по его уплотняющей способности для конкретного типа, состояния и слоя асфальтобетона реальные значения индекса контактных его давлений могут точно не совпадать с потребным оптимальным индексом, найденным для этого слоя по теоретической зависимости (3) или по графикам, по ней построенным.

Анализ (3) и опыт эксплуатации катков подсказывает, что такое несовпадение в пределах $\pm 5 - 6\%$ вполне допустимо, и оно не должно особо отразиться на качестве укатки, если при этом использовать некоторую компенсацию за счет увеличения или уменьшения количества циклов нагружения (проходов) катка. Поэтому каток с толщиной оптимального слоя уплотнения h_{on} может вести укатку реального слоя h_o чуть больше или несколько меньше оптимального примерно в следующих пределах:

$$\begin{aligned} h_{on} = 3 \text{ см}; h_o = h_{on} \pm 0,5 \text{ см} = 2,5 - 3,5 \text{ см} \\ h_{on} = 6 \text{ см}; h_o = h_{on} \pm 1,0 \text{ см} = 5 - 7 \text{ см} \\ h_{on} = 10 \text{ см}; h_o = h_{on} \pm 1,5 \text{ см} = 8,5 - 11,5 \text{ см} \\ h_{on} = 15 \text{ см}; h_o = h_{on} \pm 2,0 \text{ см} = 13 - 17 \text{ см} \end{aligned}$$

Этой особенностью теоретической зависимости (3), видимо, и объясняется не столь существенная разница в реальных результатах уплотнения слоев асфальтобетона, отличающихся по толщине на $\pm 10 - 15\%$ от среднего.

Таким образом, из четырех рассмотренных принципов или критериев (удельное линейное давление, индекс Nijboer, контактные давления по Хархуте Н.Я. и индекс контактных давлений ЗАО «ВАД»), по которым можно создавать и функционально оценивать современные дорожные катки для уплотнения асфальтобетона, в том числе вибрационные, только индекс контактных давлений и разработанная на его основе инженерная методология позволяют давать полноценные, квалифицированные и конкретные решения задач и получать ответы на вопросы по конструированию этой техники и технологии ее эффективного использования на дороге.

Что же характерно для современных асфальтобетонных виброкатков, каковы их достоинства и недостатки, и как в функциональном плане можно их оценить по разработанной в ЗАО «ВАД» инженерной методике?

Прежде всего, бросается в глаза многообразие разных моделей и образцов таких катков даже у одной фирмы. Например, в 2008 г. фирма Bomag (Германия) помимо 16 моделей малогабаритных вибрационных и комбинированных катков весом от 1,3 до 4,2 т предлагала своим покупателям еще 21 модель чисто вибрационных и комбинированных катков весом от 8,3 до 13,4 т, способных вести укатку асфальтобетона за укладчиком, т.е. всего у Bomag 37 моделей. Витрина фирмы Дупарас (Швеция) несколько скромнее — всего 23 модели малогабаритных и крупных катков. Но наиболее «плодовитой» оказалась немецкая фирма Hamm — 12 образцов малогабаритных и 26 моделей крупных (вес от 7 до 14 т) катков, что вместе составляет 38 разных моделей.

Эти три европейских производителя вместе «породили» почти 100 моделей виброкатков, что составляет около 50% от общего количества имеющихся в мире разработок этой техники. И это вызывает, конечно, удивление и непонимание необходимости такого количества моделей и образцов. Зачем их столько «плодить», если в функциональном плане можно обойтись гораздо

меньшим их количеством, что подтверждает практика фирмы Caterpillar.

В частности, в дорожной практике России характерные толщины реальных слоев укладки асфальтобетона таковы:

- выравнивание поверхности — до 2–4 см (в среднем 3 см), а иногда и больше;
- верх покрытия — обычно в пределах 4–6 см (в среднем 5 см);
- низ покрытия — около 6–8 см (в среднем 7 см);
- асфальтобетонный верх основания — примерно 9–12 см (в среднем 10 см).

Вот для таких слоев асфальтобетона российскому дорожнику и целесообразно иметь статические и вибрационные катки. К примеру, в ЗАО «ВАД» многочисленный парк уплотняющей техники для асфальтобетона состоит из разнообразных по весу и размерам образцов катков фирм Дупарас и Hamm, но «главной ударной силой» и самыми востребованными за последние 2–3 года стали виброкатки HD 75 фирмы Hamm, наиболее близко по своей уплотняющей способности и эффективности (см. табл. 2) соответствующей указанной российской практике, и, прежде всего при устройстве верхних и нижних слоев покрытий.

Подавляющее большинство выпускаемых в мире виброкатков (кроме некоторых малогабаритных) имеют три режима нагружения уплотняемого асфальтобетона — статический, со слабой вибрацией и сильной вибрацией. Этими режимами и определяется их уплотняющая способность и функциональная пригодность в тех или иных практических случаях выполнения асфальтобетонных работ.

В таблицах 2 (Hamm) и 4 (Дупарас) для примера и анализа приведены данные по уплотняющей способности основных моделей виброкатков этих двух фирм, в том числе ранее выпускавшихся и «свеженьких». Уплотняющая способность установлена аналитическим путем для многощелебнистых плотных асфальтобетонных смесей по критерию индекса контактных давлений катка и методике ЗАО «ВАД».

Эти данные показывают, что по оптимальной толщине слоя проработки виброкатки Hamm и Дупарас в среднем близки друг другу, хотя можно обнаружить и некоторое различие. При статической начальной прикатке горячей и еще рыхлой смеси сразу за укладчиком оптимальный слой уплотнения у катков обеих фирм находится в пределах от 4–5 до 8–10 см. При этом следует иметь в виду, что при укатке в таком статическом режиме почти уже плотного и заметно остывшего асфальтобетона толщина оптимального или прорабатываемого слоя понижается до 1,5–2,5 см, т.е. в три-четыре раза. Вот так работает отношение σ_0/σ_p в соответствии с графиком на рис. 2.

На слабом режиме вибрации итоговый (после всех фаз, температур и проходов катков) слой уплотнения составляет от 4–5

Таблица 4 Показатели уплотняющей способности некоторых прежних и новых виброкатков фирмы Дупарас (Швеция)

Модель виброкатка Дупарас	Исходные параметры катка					Оптимальный слой уплотнения (см) щебенястого асфальтобетона при				Общий итог $h_{оп}$, см
	Q, т	B×D, мм	$A_{ос}$, мм	f, Гц	P_0 , тс	статике	начало	середине	конец	
CC142	3,9	1300×802	0,50	52	3,3	2,5	4,5	3,5	3-3,5	3,5
CC211	7,2	1450×1040	0,35 0,70	49 47	3,6 6,7	5,5-6	7,0 10,5	4,5-5 8,0	4,5-5 7,5	4,5 8,0
CG223HF	7,5	1450×1120	0,20 0,70	67 54	3,9 8,9	6,0	7,0 13-13,5	5,0 10,5-11	4,5-5 10,5	4,5 10,5
CC222HF	7,7	1450×1120	0,20 0,70	67 54	4,4 7,8	6,0	8,0 12,0	5,5 9,5	4,5 8,5	5,0 9,0
CC232HF	8,4	1450×1120	0,20 0,50	71 51	6,8 7,8	7,5	12,0 13,5	9-9,5 10,5	8,5 9,5	9,0 10,0
CG233HF	8,2	1450×1120	0,20 0,50	67 54	3,9 8,9	7,0	8,0 14,5	5,5 11,5	4,5 11,0	5,0 11,0
CG333HF	8,6	1680×1120	0,20 0,50	71 54	6,0 8,2	5,5	8,5 10,5-11	6,0 8,5	5,5-6 7-7,5	6,0 8,0
CC322	8,1	1680×1120	0,30 0,50	51 51	3,9 8,9	5,0	6,0 11,0	4,5 8,5	3,5 7,5-8	4,0 8,0
CC422	10,4	1680×1300	0,40 0,80	51 51	7,0 13,8	7-7,5	10,5 >15	7,5 14,5	7,0 14,5	7-7,5 14,5
CC422HF	10,4	1680×1300	0,30 0,70	63 50	7,4 11,6	7-7,5	10,5-11 15-15,5	8-8,5 12-12,5	7-7,5 12,0	8,0 12,0
CC522	11,85	1950×1400	0,30 0,70	51 51	7,0 13,8	6,5	8,5 14-14,5	6,0 11,5	5,5 11,5	5,5-6 11,5
CC522HF	11,85	1950×1400	0,20 0,60	63 50	7,4 11,6	6,5	9,0 12,5	6-6,5 9,5	5,5 9-9,5	6,0 9,5
CC622HF	12,6	2130×1400	0,20 0,60	63 51	7,7 13,8	6-6,5	8,5 13,0	5,5-6 10,5	5-5,5 10-10,5	5,5 10,5
CC722	16,78	2130×1527	0,40 0,70	48 48	10,2 21,5	10,0	13,5 >15	9,5 >15	8,5 >15	9,0 >15
CC424HF (EC)	10,5	1730×1300	0,20 0,80	62 43	5,4 9,9	7,0	8,5 13,0	6,0 10,0	5,0 9,0	5,5 9,5
CC424HF	10,5	1730×1300	0,30 0,80	67 51	9,3 14,2	7,0	12,5 >15	9,5 14,5	8,5 14,0	9,0 14,0
CC524HF (EC)	11,6	1950×1300	0,20 0,80	62 43	5,6 10,7	7,0	8,5 12,0	5,5 9,5	4,5 8,5	5,0 9,0
CC524HF	11,6	1950×1300	0,30 0,80	67 51	10,1 15,7	7,0	11,5-12 >15	9,0 14,0	8,0 13,5	8,5 13,5-14
CC624HF (EC)	12,6	2130×1300	0,20 0,80	62 43	6,1 11,6	6,5-7	8,0 12,0	5,5 9-9,5	4,5 8-8,0	5,0 9,0
CC624HF	12,6	2130×1300	0,30 0,80	67 51	10,8 16,9	6,5-7	11,5 >15	8,5 13,5	7,5 13,0	8,0 13,0

Примечание:

1. Значения $A_{ос}$, f, P_0 и толщины слоя уплотнения $h_{оп}$ в числителе соответствуют слабому режиму вибрации, в знаменателе – сильной вибрации.
2. Толщина слоя уплотнения асфальтобетона найдена для: статике при его $T=125-130$ °C, $K_f=0,90-0,91$; начала вибрации – $T=105-110$ °C, $K_u=0,93$; середины виброукатки – $T=90-95$ °C, $K_f=0,96-0,97$; начала конечной фазы виброуплотнения – $T=80-85$ °C, $K_f=0,98-0,99$.

до 9–11 см, а сильный режим вибрации дает повышение диапазона такого слоя от 7–8 до 13–14 см. К сожалению, это средние ничего не говорящие цифры до тех пор, пока не возникнет потребность выбирать и анализировать конкретный каток для конкретного объекта.

По данным табл. 4 любопытно и может быть полезно выявить тенденцию и про-

следить эволюцию функциональных параметров, и в первую очередь уплотняющей способности, виброкатков фирмы Дупарас двух серий (420 и 520), представленных в табличной форме (табл. 5).

Периодическое обновление и смена одной модели виброкатка Дупарас на другую в каждой серии сопровождалась то повышением, то снижением показателя уплот-

няющей способности (толщины проработываемого слоя). И не совсем понятно, по каким причинам или с какой целью? Радует только то, что последние новые образцы (CC424HF и CC524HF с приставками EC, очевидно европейский союз) по этому функциональному показателю видимо уже лучше будут соответствовать потребностям дорожников, в том числе российских.

Наряду с уже отмеченными особенностями и достоинствами современных виброкатков целесообразно отметить и некоторые их недостатки. Среди последних уместно выделить три. Во-первых, продолжающееся использование для их разработки и создания изжившего себя критерия удельного линейного давления, не учитывающего многие влияющие на процесс и результат уплотнения асфальтобетона факторы и параметры как самих виброкатков, так и асфальтобетонных смесей.

Во-вторых, многие модели виброкатков обладают чрезмерной уплотняющей способностью для реальных слоев устройства асфальтобетонных покрытий и оснований, и практически все виброкатки, даже с рациональными показателями, сильно перегружают и может быть, даже разрушают горячую и еще не очень плотную и прочную асфальтобетонную смесь на начальной фазе ее виброукатки. Об этом свидетельствуют толщины оптимальных слоев проработки на этой фазе, превышающие примерно в 1,5 раза аналогичные толщины слоев на заключительной фазе виброуплотнения (табл. 4).

В-третьих, низкая универсальность большинства моделей виброкатков по типам и толщинам слоев уплотняемого асфальтобетона из-за наличия у них всего трех дискретно варьируемых режимов силового воздействия (статика, слабая и сильная вибрация).

Технологическая пригодность. Любой статический или вибрационный каток (или звено катков) должен успевать своей производительностью за работой укладчика, раскладывающего горячую асфальтобетонную смесь заданной проектом толщиной слоя, принятой технологом или производителем асфальтобетонных работ шириной и с назначенной рабочей скоростью укладчика из условия необходимости выполнить операции укладки и укатки в пределах времени изменения температуры слоя смеси от 135–140 (минимум от 120–125) до 65–70 °C, т.е. с учетом скорости остывания заданного слоя в конкретных погодных условиях производства работ.

Таблица 5.

Серия и модель виброкатка Дупарас	Серия 420				Серия 520				
	CC422	CC422HF	CC424HF	CC424HF (EC)	CC522	CC522HF	CC524HF	CC524HF (EC)	
Оптимальный слой уплотнения многослоев. асфальтобетона в режиме укатки (см)	Статика (прикатка)	7-7,5	7-7,5	7,0	7,0	6,5	6,5	7,0	7,0
	Слабая vibro	7-7,5	8,0	9,0	5,5	5,5-6	6,0	8,5	5,0
	Сильная Vibro	14,5	12,0	14,0	9,5	11,5	9,5	13,5-14	9,0



Посильная лепта виброкатков Vomag в качестве асфальтобетонного покрытия

часа не должны превышать 10 мин;

n — количество проходов катка по одному его следу, чтобы он обеспечил требуемое качество укатки асфальтобетона; обычно каткам, работающим за укладчиком, для этого требуется около 6–10 проходов и для расчетов можно в среднем положить $n=8$.

Как видно из (9), наибольшее влияние на результат подсчета часовой производительности катка оказывают ширина его вальцов, рабочая скорость и количество проходов. Ряд производящих катки фирм учитывают влияние параметров « a » и $K_{эф}$ совместно через коэффициент, принимаемый в пределах 0,6–0,7 (Дупарас) [4]. В других фирмах (Намм) используют (9), но предлагают принимать « a »=10 см [3]. Дорожники России считают, что « a » должно быть оптимальным и его следует назначать равным 20–30 см.

Однако ни те, ни другие решения и предложения не совсем корректны и правильны. В действительности же величина « a » является переменной и на невыгодной полосе уплотнения конкретным катком может достигать 80–100 см, а на выгодной — всего 10–15 см. И, конечно же, в том и другом случае один и тот же каток будет иметь разные и подчас довольно сильно отличающиеся значения своей производительности.

Поэтому величину « a » всегда необходимо определять и учитывать ее влияние на производительность катка. Тем более, что среднее значение « a » не так уж сложно и вычислить из геометрических соображений по зависимости

$$i = \frac{B_{yпл} - a}{B_k - a} = 1, 2, 3, \dots; a = \frac{iB_k - B_{yпл}}{i - 1}, \quad (10)$$

где $i=1, 2, 3, \dots$ — обязательно целое количество уплотняемых катком продольных полос (ширина полосы B_k) на ширине общей полосы работы катка ($B_{yпл}$).

Для повышения производительности операции уплотнения у дорожного технолога есть две возможности: выбрать каток с наибольшей производительностью и требуемой уплотняющей способностью либо увеличить количество таких катков. Последнее не всегда бывает приемлемым по условиям выполнения работ (возможны помехи катков друг другу), да и к тому же это ведет к удорожанию операции уплотнения. Поэтому сначала следует использовать все возможности по повышению производительности выбранного катка, затем попытаться поменять его на более крупный и производительный экземпляр и лишь после этого рассмотреть вариант увеличения количества катков.

Однако для повышения производительности выбранного катка технолог не может изменять B_k (каток уже выбран), величину « a » (она получается по расчету), n (принято 8 проходов) или $K_{эф}$ (уже =0,83). Остается варьировать только рабочей скоростью катка V_k . Правда, назначать или, точнее, произвольно увеличивать ее у виброкатков тоже нельзя.

Это обусловлено особенностями деформирования (уплотнения) асфальтобетона частотуарным нагружением виброкатка, из которых вытекают ограничения его рабочей

При указанных данных несложно определить производительность укладчика по площади устроенного покрытия за час, а по ее значению уже найти потребную часовую производительность операции укатки. Последняя должна быть на 10–20% больше производительности укладчика, чтобы не сдерживать его работу как ведущей машины в отряде.

Для обеспечения потребной производительности операции уплотнения могут быть задействованы один, два или три катка, выбранных по их уплотняющей способности. Это зависит от часовой производительности самого катка и производительности укладчика.

Часовую производительность катка следует определять по простой и известной формуле

$$P_k = \frac{(B_k - a)V_k K_{эф}}{n}, \text{ м}^2/\text{ч} \quad (9)$$

где B_k (м) — ширина вальца тандемного катка или ширина уплотнения трехвальцового образца;

« a » (м) — величина перекрытия соседних продольных следов (полос) катка на ширине уплотняемой полосы покрытия, которую катку поручено укатать (на ширине полосы работы укладчика уплотняемых катками таких полос может быть несколько, и их количество зависит от отношения $P_{укл}/P_k$);

V_k (м/ч) — средняя рабочая скорость катка, она с учетом его разгонов, торможений и реверсов составляет около 90% от максимальной, на которой каток и должен работать;

$K_{эф} = 50/60 = 0,83$ — коэффициент использования рабочего времени катка в течение часа (60 мин), т.е. коэффициент эффективной работы катка; во всем мире принято, что потери рабочего времени в течение



Виброкатки HD 75 фирмы НАММ (Германия) являются «главной ударной силой» ЗАО «ВАД»

Теперь бренд VOLVO украшает и виброкатки

скорости, основанные на давних, но до сих пор свято чтимых практических рекомендациях американских дорожных специалистов. По этим рекомендациям эффективность виброкатка будет высокой для качественного уплотнения асфальтобетона, если он будет создавать 9–12 (в среднем 10–11) циклов нагружений на каждый фут (30,5 см) или около 33–36 (в среднем 35) циклов на 1 м своего пути. И большинство фирм, катки производящих, и дорожников многих стран придерживаются и используют эти полезные в практическом плане рекомендации.

Если более точно и творчески их проанализировать с учетом размеров вальцовой дуги контакта, а также рыхлого и плотного состояния слоя виброуплотняемого асфальтобетона, то получается, что по любой точке этого слоя под дугой контакта должно быть произведено не менее 4 (рыхлый слой) и не менее 2 (слой почти плотный) или в среднем 3 цикла силовых нагружений любым вальцом тандемного виброкатка за каждый его проход. В этом случае качество укатки асфальтобетона будет соответствующим рекомендациям американских специалистов.

И этому есть свое практическое обоснование и объяснение. Для этого нужно вспомнить статическую технологию уплотнения асфальтобетона, в которой требуемое качество его укатки обеспечивалось после 20–24 общих проходов трех разных типов катков (легкий, средний, тяжелый), т.е. вместе, с учетом двух вальцов на катке, они нагружали асфальтобетон 40–48 (в среднем 44) циклами. У тандемного виброкатка за 6–8 проходов при двух вальцах и 3 средних циклах на каждый валец набирается 36–48 или в среднем 42 суммарных цикла нагружения. Цифры близкие.

Таким образом, рабочую скорость катка не следует задавать выше определенного предела, за которым среднее количество циклов нагружения вальцом катка любой уплотняемой точки асфальтобетона окажется меньше 3, а на плотном слое — меньше 2, что негативно отразится на качестве уплотнения.

Этот предел скорости с учетом прямого влияния на него частоты колебаний вальца (количество циклов нагружений в сек) и зависимости размера контактной дуги b_0 от диаметра вальца D и осадки поверхности укатки δ_0 (рис. 1), связанной определенным образом с толщиной слоя h_0 , можно находить по формуле

$$V_k \leq 0,004f\sqrt{Dh_0}, \text{ км/ч} \quad (11)$$

где f — линейная частота колебаний вальца виброкатка (Гц);

D, h_0 — диаметр вальца катка и толщина укатываемого слоя (см);

0,004 — коэффициент перевода см в км и сек в час с учетом значений β и потреб-



ных 3 циклов нагружений по любой точке поверхности укатки вальцом за 1 проход катка.

Из этой формулы следует, что из трех параметров (f, D, h_0) наиболее существенное влияние на скорость катка может оказать изменение частоты колебаний вальца. К примеру, катку с $f=50$ Гц и $D=1200$ мм на двух слоях асфальтобетонной смеси толщиной 5 и 8 см допустимо вести укатку на скоростях не выше 4,9 км/ч (5 см) и 6,2 км/ч (8 см), т.е. в этом случае прирост производительности составит 27%. У двух же катков с $D=1000$ и 1300 мм с одинаковой частотой колебаний и на любых одинаковых слоях укатки прирост производительности у катка с $D=1300$ мм не превысит 14%.

Если же виброкатком с $D=1200$ мм нужно уплотнять слой 6 см на двух частотах колебаний (50 и 70 Гц), то он это сможет сделать на максимальных скоростях, не превышающих 5,4 км/ч (50 Гц) и 7,5 км/ч (70 Гц), т.е. прирост производительности катка при 70 Гц может составить 40%.

Вот почему перевод виброкатков на более высокие частоты колебаний вальцов

(HF — high frequency), впервые осуществленный фирмой Дунарас, вызвал живой интерес у других производителей уплотняющей техники и у дорожников. Правда, некоторые из них отнеслись к этой новинке с некоторой осторожностью и оглядкой. И видимо, не без оснований, полагая, что HF это не благо «чистой воды, вдруг свалившееся с небес».

С повышением частоты колебаний вальца или количества циклов нагружений в сек уменьшается время действия силы на материал. В результате должна несколько снижаться величина возникающей деформации за один цикл нагружения. Об этом сигнализирует, например, рост модуля упругости асфальтобетона при 50 °С в 1,6 раза при повышении частоты его нагружения одной и той же силой с 42 до 83 Гц [5]. И в практическом плане это может обернуться необходимостью увеличить количество проходов виброкатка с HF, к примеру, с 8 до 10–12, чтобы получить ту же самую суммарно накопленную остаточную деформацию асфальтобетонной смеси и одинаковое необходимое его качество укатки.

Теперь о целесообразности и эффективности замены одного виброкатка с не очень

Таблица 6 Результаты технологического и экономического анализа работы виброкатков

Ширина полосы укатки покрытия, м	Средние технологические и экономические показатели работы дорожных катков с шириной вальцов (укатки), мм											
	1380, 1400, 1420, 1450, 1500				1680, 1700, 1730				1950, 1980, 2100, 2130, 2140			
	i	a_{cp} , см	$P_{\text{к}}$, м ² /ч	$C_{\text{к}}/P_{\text{к}}$, %	i	a_{cp} , см	$P_{\text{к}}$, м ² /ч	$C_{\text{к}}/P_{\text{к}}$, %	i	a_{cp} , см	$P_{\text{к}}$, м ² /ч	$C_{\text{к}}/P_{\text{к}}$, %
3,0	3	65	390±3%	79	2	41	650±1%	66	2	112	470±8%	100
3,5	3;2	40	515±3%	63	3	81	450±1%	100	2	62	720±6%	69
4,0	3	15	650±3%	64	3	56	575±1%	100	3;2	53	775±14%	79
4,5	4	41	510±1%	79	3	31	700±1%	80	3	84	610±3%	100
5,0	4	24	575±3%	80	4;3	42	640±18%	100	3	59	735±2%	95
5,5	5	28	575±13%	80	4	44	635±1%	100	3	34	860±2%	81
Среднее значение	-	36	535±4% (77%)	74 (81%)	-	49	610±4% (87%)	91 (100%)	-	67	695±6% (100%)	87 (95%)

подходящей производительностью на другой, имеющий большую ширину вальцов и поэтому более высокую производительность.

Для корректного анализа влияния ширины вальца B_k на часовую производительность виброкатка P_k , значения других показателей из (9) были приняты одинаковыми и постоянными для всех катков с любой анализируемой шириной вальцов (от 1380 до 2140 мм) — максимальная рабочая скорость катка $V_k=5,4-5,5$ км/ч (средняя 4,8–4,9 км/ч), $n=8$ проходов, $K_{зп}=0,83$. При этом каждому катку «предлагалось» (условно) выполнить укатку полосы покрытия разной ширины (от 3,0 до 5,5 м с шагом изменения 0,5 м) и на каждой из них определялись количество его рабочих полос i , величина перекрытия «а» и сама часовая производительность.

Затем все катки и полученные указанным путем их данные были рассортированы на три группы с близкими размерами вальцов по ширине — от 1380 до 1500 мм (группа первая), от 1680 до 1730 мм (вторая) и от 1950 до 2140 мм (третья), а все значения i , «а» и P_k по группам были усреднены и представлены в обобщенной табл. 6.

Из приведенных результатов этой таблицы видно, что величина перекрытия полос «а» довольно заметно влияет на производительность катка в сторону ее снижения, причем она значительно отличается от всякого рода рекомендаций и предложений фирм и отдельных специалистов. Среднее значение «а» составляет 25–32% от ширины вальца для всех трех групп катков, а максимальные на отдельных полосах укатки доходят до 29–45% (первая группа), 33–48% (вторая) и 41–54% (третья).

Для каждой из типоразмерных групп виброкатков есть выгодные и невыгодные полосы укатки, на которых производительность P_k оказывается максимальной или минимальной. К примеру, катки первой группы выгодно использовать на полосе шириной 4 м, а невыгодно — на полосе 3 м.

Любопытно, но производительность на ширине 4 м катков первой группы

(650 м²/ч) оказалась выше, чем у катков второй группы (575 м²/ч), имеющих более широкие вальцы. Правда, последние более производительны на полосе 4,5 м (700 м²/ч), что даже выше, чем у самых крупных катков третьей группы (610 м²/ч).

Конечно, все это можно объяснить «происками, каверзами или шалостями» реальных значений параметра «а». С увеличением ширины вальцов у катков первой группы до ширины вальцов третьей группы в 1,44 раза рост производительности составил всего 1,3 раза вследствие того, что средняя величина «а» выросла в 1,86 раза, т.е. рост производительности крупных катков оказался не прямо пропорциональным росту ширины их вальцов. Поэтому дорожник должен обязательно учитывать наличие и влияние этого «каверзного» параметра «а».

Экономические показатели. В той же табл. 6 приведены средние значения отношения стоимости катка/производительность катка в час (C_k/P_k) для каждой группы катков на различных полосах укатки. На каждой из этих полос определялось отношение C_k/P_k в USD/м²/ч для всех трех групп катков, и наибольшая величина из трех значений принималась за 100%.

Полученные таким образом данные свидетельствуют о том, что по такому своеобразному показателю наиболее привлекательными оказываются виброкатки первой типоразмерной группы (меньше по габаритам и весу), у которых значение этого показателя почти на 20% меньше, чем у «лидера», которым неожиданно и на удивление оказалась вторая (средняя) группа катков. А вот у крупных виброкатков (третья группа) показатель цена/производительность всего 5% не дотянул до 100%.

Этот анализ дает основание рекомендовать более выгодные виброкатки меньших габаритов и веса для использования в дорожной отрасли, особенно если они будут соответствовать требуемой уплотняющей способности и подходящей производительности по укат-

ке (550–600 м²/ч). Такая тенденция уже просматривается в последнее время.

В этом плане фирмам, катки выпускающим, целесообразно обратить внимание на пока незаполненную нишу виброкатков в весовом диапазоне от 4,5 до 6,5–7 т. В табл. 2 среди виброкатков фирмы Hamm помещен один из вариантов такого катка под условной записью «Заказ «ЗАО ВАД». Его основные функциональные параметры и показатели, найденные по методике, изложенной в настоящей публикации, должны быть не хуже виброкатка HD 75, а в чем-то и превосходить его. Во-первых, он более универсален (способен уплотнять как многощебенчатые, так и более слабые песчаные и малощебенчатые асфальтобетонные смеси). Во-вторых, он должен быть дешевле HD 75, что немаловажно, например, для ремонта и строительства местных и сельских дорог в России. Он также будет хорош на капитальном ремонте федеральных дорог III технической категории с выполнением асфальтобетонных работ на ширине 4 м.

В заключение, очевидно, следует пожелать каждому дорожнику уметь решать технологические задачи, загадки или ребусы, наподобие одного или одной из них в таком реальном примере. В фирме Дунарас есть четыре виброкатка — CC222HF, CC424HF-EC, CC524HF-EC и CC624HF-EC (см. табл. 3), имеющие практически одинаковую и хорошую уплотняющую способность на многощебенчатом асфальтобетоне (5–5,5 см в плотном окончательном виде при слабом режиме вибрации вальцов и 9–9,5 см на сильной вибрации). Все остальное у них разное (стоимость, вес, размеры вальцов, габариты, параметры вибрации). Какой из них следует выбрать для своего конкретного объекта?

Литература

1. Костельов М.П., Перевалов В.П. Новая усовершенствованная технология устойчиво обеспечивает высокое качество уплотнения асфальтобетона. Каталог-справочник «Дорожная техника и технологии», 2005, с. 120–132
2. Костельов М.П., Пахаренко Д.В. Чем и как уплотнять асфальтобетон в покрытиях при смене его типа, состояния и толщины слоя. Каталог-справочник «Дорожная техника и технологии», 2007, с. 70–85
3. Compaction in asphalt construction and earthworks. Hamm AG. Tirschenreuth, September 2008, 142 p.
4. Уплотнение и укладка дорожных материалов. Теория и практика фирмы Дунарас. Перевод с английского. Изд. 2-е. Издательство Тест-Принт. Санкт-Петербург. 1995, 86 с.
5. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия. Транспорт. М., 1992, 253 с.

«Рабочая вахта» виброкатка Дунарас CC222HF вдоль Дворцовой площади Санкт-Петербурга

