

# НОВАЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УСТОЙЧИВО ОБЕСПЕЧИВАЕТ ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

**Костельов М. П.,**  
к.т.н., главный технолог

**Перевалов В. П.,**  
зам. генерального директора  
(ЗАО «ВАД», г. Санкт-Петербург)

Каждый раз, приступая к асфальтобетонным работам на дороге, любой подрядчик должен быть уверен в том, что он сумеет устроить ровное, плотное, прочное и долговечное покрытие. На это же надеется и заказчик, предварительно анализируя предыдущий опыт подрядчика, профессиональный уровень его специалистов и рабочих, наличие современной техники и использование наиболее прогрессивных или усовершенствованных технологий.

Сейчас ситуация с качеством асфальтобетонных работ и с зависящими от этого качества сроками службы дорожных покрытий на российских объектах заметным образом сдвинулась в лучшую

сторону. Сами дорожники стали в этом плане грамотнее и ответственнее. Более качественными стали исходные материалы для асфальтобетона, многие подрядчики используют современные АБЗ, укладчики и катки, освоили передовые технологии устройства покрытий с помощью перегружателей смеси, ультразвуковой автоматики на укладчиках, ударно-вибрационного уплотнения смеси катками фирм Dynapac, Hamm, Bomag, Ingersoll-Rand-ABG и др.

И, тем не менее, пока не все в сегодняшней асфальтобетонной технологии устраивает ведущие дорожные фирмы и специалистов России, особенно когда речь заходит об уплотнении горячих ас-

фальтобетонных смесей в покрытии.

Многолетняя практика применения самых современных отечественных и зарубежных пневмошинных и гладковальцовых статических и вибрационных катков показывает, что не всегда и не всякие их образцы обеспечивают российскому дорожнику минимально требуемое по нормам или еще более высокое качество уплотнения асфальтобетона. Даже при соблюдении всех технологических требований и правил выполнения этой операции.

Сравнительный анализ функционально-технологических параметров и особенностей большого количества статических и вибрационных катков, в том числе и наиболее современных их образцов, и результатов укатки ими горячих асфальтобетонных смесей различными слоями выявил несколько пробелов, упущений и существенных недостатков, отражающихся на качестве асфальтобетона.

Главный из таких недостатков состоит в том, что на протяжении достаточного продолжительного периода времени все эти модели и типы катков создавались и продолжают создаваться не на основе фундаментального теоретического осмысления самого процесса уплотнения и особенностей механики силового взаимодействия рабочего органа катка (валец, шина) с уплотняемым материалом, а эмпирическим путем, методом проб и ошибок через практический эксперимент.

Очевидно, по этой причине никто пока не может дать вразумительных ответов на вопросы о силе воз-



Асфальтобетонные работы на Автобусной ул. Санкт-Петербурга выполняет ЗАО «ВАД».

действия вальца виброкатка на уплотняемый материал или о значениях контактных давлений статических и вибрационных катков на этот материал. До сих пор в качестве критерия оценки уплотняющей эффективности статического гладковальцового катка используется так называемое линейное давление его вальца, никак не связанное ни с прочностью, ни с деформативностью уплотняемого материала.

А у виброкатков вообще нет никаких критериев. Их функционально-технологическая оценка производится приблизительно и интуитивно по значениям отдельных показателей и параметров (общий вес, амплитуда и частота колебаний вальца, центробежная сила). Но чаще всего такая оценка строится на доверии к фирме-производителю виброкатка.

Второй существенный недостаток технологии и средств укатки состоит в вольном или невольном игнорировании влияния толщины уплотняемого слоя асфальтобетона на итоговый результат их работы. В дорожной отрасли при возведении земляного полотна технолог либо по техническим характеристикам грунтоуплотняющей машины, либо по рекомендациям фирмы, выпустившей эту машину, либо путем пробного уплотнения устанавливает оптимальную толщину слоя отсыпки грунта в насыпь и рациональный режим его уплотнения этой машиной.

При устройстве же асфальтобетонных покрытий таких оптимальных толщин не определяют, потому что толщина слоя жестко задается проектом и контрактом. К тому же многие ошибочно полагают, что между толщинами слоев устраиваемых покрытий не такая уж большая разница и что это не имеет принципиального значения. Поэтому в подавляющем большинстве случаев одни и те же различные виброкатки дорожник использует, к примеру, на слоях 5 и 8 или 3 и 7 см, хотя теоретически вес статического катка или эквивалент-

ная динамическая сила вальца виброкатка для слоя 3 см должна быть меньше в 1,5 раза, чем для слоя 7 см. Отсюда очевиден возможный разрыв в качестве уплотнения таких слоев одним и тем же катком.

И, наконец, третий недостаток касается непосредственно устройства самих виброкатков. В свое время, когда статическая технология укатки была единственной, задача качественного уплотнения асфальтобетона, непрерывно наращивающего свою плотность и снижающего температуру в процессе укатки и потому требующего постепенного возрастания силового воздействия статического катка, решалась простой сменой легкой его модели на более тяжелую, а затем на еще более тяжелую. Подобная смена производилась на каждой стадии уплотнения (предварительная, основная, заключительная).

Однако ученые и инженеры нашли оригинальную и разумную альтернативу такой технологии и статическим каткам. Вместо смены легкого типа статического катка на более тяжелые модели был предложен виброкаток, динамическое воздействие которого служило приемлемым эквивалентом более тяжелому катку. Виброкаток с двумя различными режимами вибрации, с точки зрения силового воздействия на уплотняемый материал, являл собой как бы три статических катка в одной конструкции — статический (без вибрации), вибрационный со слабым режимом колебаний вальца и вибрационный с сильным режимом колебаний.

К сожалению, устройством существующих виброкатков не предусмотрено плавное или дискретное, но постепенное повышение центробежной силы вибровозбудителя сообразно нарастанию плотности и прочности асфальтобетона и снижению его температуры, как это имеет место при смене статических катков. При включении вибровозбудителя катка эта сила тут же приобретает постоян-



Виброкаток тандемный BW 174AD фирмы Bomag для уплотнения асфальтобетона.

ное и максимальное значение, соответствующее каждому режиму вибрации, хотя с точки зрения качества уплотнения асфальтобетона, надобности сразу в таком максимальном ее значении нет никакой.

В начальной фазе виброукатки с такой центробежной силой (сразу за укладчиком), когда асфальтобетон еще горячий и не очень плотный, динамические силовые воздействия вальцов катка, как правило, оказываются излишне чрезмерными и могут сопровождаться не столько уплотнением, сколько разуплотнением, сдвигами и даже разрушением приповерхностной зоны слоя.

Избежать этого можно некоторым охлаждением смеси, но лучше и полезнее выполнить ее подкатку 2–3 проходами этого же виброкатка в статическом режиме и лишь после этого включать вибра-



Виброкаток тандемный DD-90 фирмы Ingersoll-Rand-ABG.

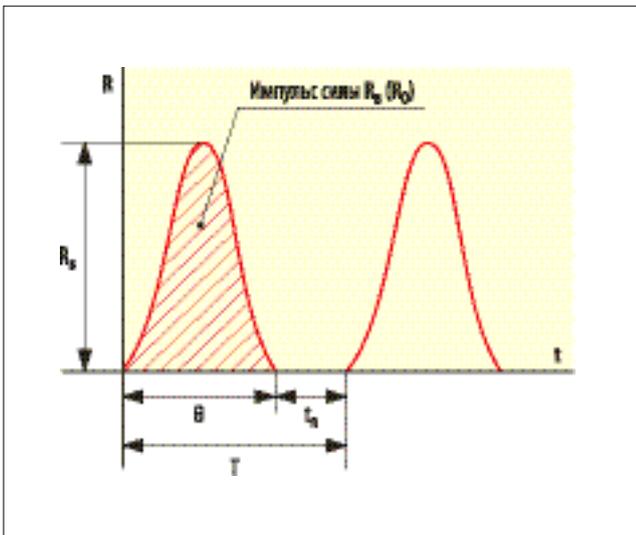


Рис. 1. Параметры периодического импульса силы при уплотнении асфальтобетона виброткатком.

цию. Грамотные и опытные дорожники часто пользуются таким приемом.

Куда серьезнее и негативнее по своим последствиям для качества асфальтобетонного покрытия может оказаться последняя фаза его виброуплотнения. За счет упругой отдачи поверхности уже почти плотного и заметно остывшего слоя смеси реальная амплитуда колебаний

валяца, а наравне с ней его реальная центробежная сила возрастают до 2–2,5 раз (инструментальные замеры). Соответственно образом повышается и общая динамическая сила воздействия вальца катка на смесь, растут его контактные давления. Причем, рост этих давлений почти всегда опережает рост прочности асфальтобетона и особенно быстро у чрезмерно динамичных виброткатков.

Этот очевидный недостаток виброткатков может, как и на начальной фазе виброуплотнения, стать причиной возможного разуплотнения или даже разрушения асфальтобетона. К тому же никто не может предсказать, в какой момент виброукатки контактные давления вальцов и прочность асфальтобетонной смеси на сжатие сравняются, чтобы сразу отключить вибрацию. Некоторые фирмы рекомендуют это делать после 4–6, другие — после 6–8, а третьи — даже после 8–10 проходов виброткатка.

У статических катков такого недостатка (опасной перегрузки асфальтобетона) нет, потому что рост их контакт-

ных давлений постепенно отстает от роста прочности уплотняемого материала, что, правда, порождает свой недостаток статических катков — непрерывное, по мере выполнения процесса укатки, снижение их уплотняющей эффективности. Это и вынуждает периодически прибегать к смене работающего катка на более тяжелый.

Силовое воздействие статического катка на уплотняемый материал установить не представляет особых трудностей. Оно равно силе веса катка под каждым вальцом  $Q_δ$ . У виброткатков определить такую силу гораздо сложнее.

В соответствии с импульсной теорией и законом земного тяготения общая сила  $R_0$  кратковременного воздействия вальца виброткатка на уплотняемую поверхность должна состоять из двух частей — постоянной силы веса катка под вальцом  $Q_δ$  и переменной по величине динамической  $R_δ$ , создаваемой вибровозбудителем катка совместно с уплотняемым материалом, а точнее с его упругой отдачей:

$$R_0 = Q_δ + R_δ = Q_δ + a_0 \cdot \tau \cdot P_0 \quad (1)$$

где  $P_0$  — центробежная сила вибровозбудителя вальца;  $a_0 = A_0/A_{\infty}$  — относительная амплитуда колебаний вальца или отношение реальной амплитуды  $A_0$  к номинальной  $A_{\infty}$  (расчетной, паспортной);  $\tau = T/4\Theta$  — относительное время перехода от импульса силы к самой силе вибровоздействия (рис. 1);

$T = 1/f$  — период колебаний вальца с частотой  $f$  (Гц);

$\Theta$  — время действия сил  $R_δ$  и  $R_0$ .

На основе имеющегося в России решения задачи о колебаниях виброударного жесткого штампа (валец, плита) на линейнодеформируемом ограничителе (уплотняемый материал) получена зависимость для определения относительного (в долях периода  $T$ ) времени воздействия на материал силы  $R_δ$  и соответственно общей силы  $R_0$

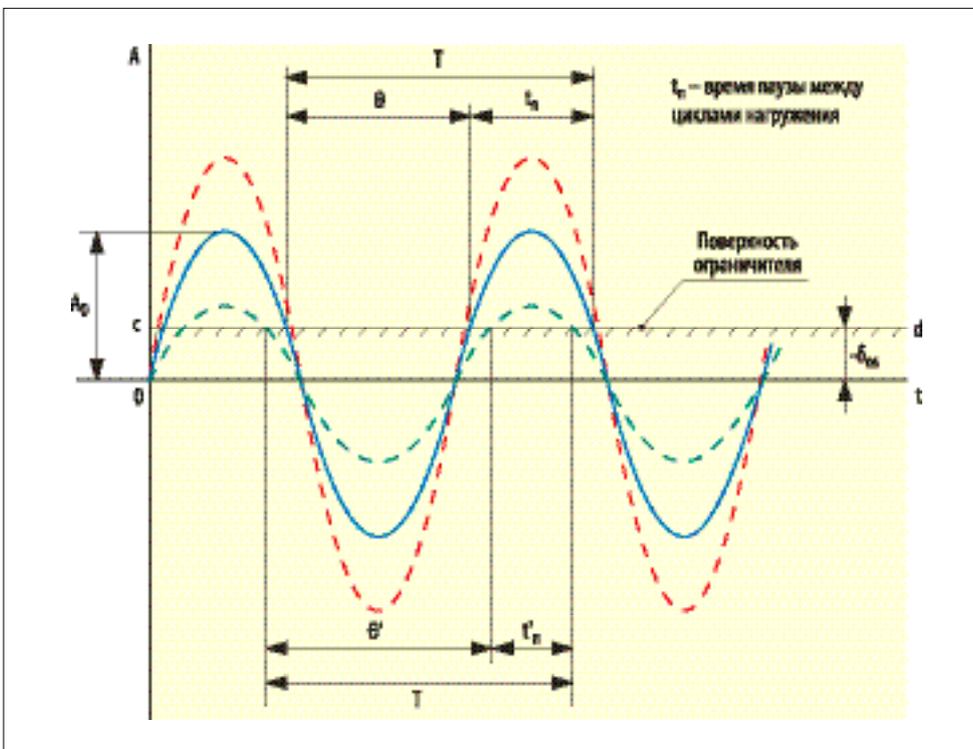


Рис. 2. Схема зависимости времени контакта  $\theta$  колеблющегося вальца с ограничителем от его амплитуды  $A_0$  и статической осадки  $\delta_{0s}$  ограничителя.

$$\frac{\Theta}{T} = \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{\delta_{os}}{A_0} \quad (2)$$

где  $\delta_{os}$  — полная статическая осадка поверхности материала, вызываемая вальцом катка под действием его силы тяжести  $Q_g$ .

В соответствии с теорией колебаний физический смысл (2) состоит в том, что время  $\Theta$  увибрирующего вальца вокруг нейтральной оси статического равновесия  $\theta-t$  (рис. 2) зависит от величины натяга (осадки)  $-\delta_{os}$  и величины реальной амплитуды колебаний.

Изменение величины  $\delta_{os}$ , определяющей положение оси  $\theta-t$  относительно поверхности ограничителя  $c-d$ , а также изменение амплитуды  $A_0$  (см. пунктир на рис. 2) сразу же отражаются на  $\Theta$  через обратную тригонометрическую функцию (2). Соответственно сказывается это и на динамической составляющей  $R_g$  силы  $R_0$ . В частности, с повышением в процессе работы катка плотности асфальтобетона и снижением его температуры величина  $\delta_{os}$  все время уменьшается, а амплитуда  $A_0$  возрастает, вследствие чего отношение  $\delta_{os}/A_0$  становится все меньше и меньше. Но в силу особенностей обратной тригонометрической функции изменение  $\Theta/T$  периодически происходит только в пределах  $0,5 \div 1,0$  и отсюда  $0,25 \leq \tau \leq 0,50$ . Поэтому  $R_g$  может иметь значения от  $(0,25 \div 0,50)P_0$  при  $a_0=1$

до  $(0,5 \div 1,0)P_0$  при  $a_0=2$  и даже до  $(0,60 \div 1,20)$  при  $a_0=2,4$ .

Расчеты сил  $R_g$  и  $R_0$  нескольких десятков реальных виброкатков ведущих мировых фирм для начальной ( $a_0=1,0 \div 1,1$ ) фазы виброуплотнения асфальтобетона слоями различной толщины, для середины ( $a_0=1,5$ ) и конца ( $a_0=2,0 \div 2,1$ ) этой операции показали, что среднее значение  $\tau$  за весь цикл виброуплотнения близко к  $0,37 \div 0,39$ , хотя пределы его изменения были в диапазоне от  $0,27 \div 0,28$  до  $0,47 \div 0,49$ .

Для начальной ориентировочной оценки силы воздействия  $R_0$  вальцов любого виброкатка и коэффициента его динамичности  $K_d$  или для сравнения уплотняющих сил нескольких виброкатков между собой на любой из фаз виброуплотнения асфальтобетона можно, в соответствии с принятыми  $\tau_{cp}$  и  $a_0$ , определять  $R_0$  и  $K_d$  по следующим зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} & \bullet \text{ Начальная фаза виброуплотнения} \\ & R_{0n} = Q_g + 0,40 \cdot P_1; \\ & K_{dn} = \frac{R_{0n}}{Q_g} = 1 + 0,40 \cdot \frac{P_1}{Q_g} \\ & \bullet \text{ Середина виброуплотнения} \\ & R_{0s} = Q_g + 0,55 \cdot P_1; \\ & K_{ds} = \frac{R_{0s}}{Q_g} = 1 + 0,55 \cdot \frac{P_1}{Q_g} \\ & \bullet \text{ В конце операции} \\ & R_{0k} = Q_g + 0,75 \cdot P_1; \\ & K_{dk} = \frac{R_{0k}}{Q_g} = 1 + 0,75 \cdot \frac{P_1}{Q_g} \end{aligned} \right\} (3)$$

Однако значений одной только действующей на уплотняемый материал силы вальца катка  $R_0$  еще недостаточно для полного представления о функциональной его полезности, для оценки его уплотняющей эффективности или для заключения о его пригодности выполнить эту важную операцию качественно на конкретном объекте. Для этого необходимо знать те контактные давления и деформации (осадки) под вальцом, которые создает каток на поверхности уплотняемого мате-

риала, и сравнивать их с прочностными и допускаемыми деформативными показателями самого материала.

На основе теории упругости и пластичности и в соответствии с механикой взаимодействия криволинейного штампа (валец катка) с линейно деформируемым материалом получена зависимость, по которой можно определять максимальные значения интересующих контактных давлений (рис. 3)

$$\sigma_s = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{R_0^2 \cdot E_0}{B^2 \cdot D \cdot h_0}} \quad (4)$$

где  $R_0$  — амплитуда или максимальная сила воздействия вальца катка на материал; для статических катков  $R_0=Q_g$ , для вибрационных  $R_0$  по (1);

$E_0$  — общий модуль деформации материала в момент его уплотнения;

$h_0$  — толщина слоя уплотняемого материала (начальная);

$B, D$  — соответственно ширина и диаметр вальца.

С целью выяснения раздельного влияния на контактные давления параметров катка и показателей свойств материала выражение (4) с учетом теории подобия и размерностей преобразовано в иной вид

$$\begin{aligned} \sigma_s &= \frac{3}{2} \sqrt{\frac{R_0^2 \cdot \Delta_s}{B^2 \cdot D \cdot \Delta_h}} \cdot \sqrt{\frac{E_0 \cdot \Delta_1}{\Delta_2 \cdot h_0}} = \\ &= \frac{3}{2} \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{E_0 \cdot \Delta_1}{\Delta_2 \cdot h_0}} \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\Delta_E=1$  кгс/см<sup>2</sup> и  $\Delta_h=1$  см — единичные значения модуля деформации уплотняемого материала и толщины его слоя.

Эти единичные значения использованы для того, чтобы размерность показателя  $P_k$  оказалась в кгс/см<sup>2</sup>, кПа или иных единицах давления, а последнее подкоренное выражение в (5) было бы безразмерным и фактически отражало бы относительную жесткость уплотняемого слоя материала.

В последующем для упрощения вида и написания формул (5), (6) или других

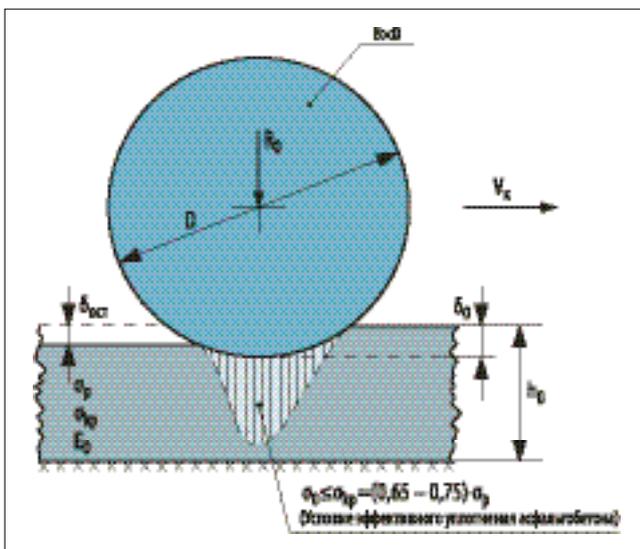


Рис. 3. Схема возникающих под вальцом катка контактных давлений и деформаций (осадок) уплотняемого слоя асфальтобетона.

Скорость деформирования асфальтобетона, мм/мин		3	18	100
Предел прочности на сжатие (кгс/см <sup>2</sup> ) при температуре 100 °С и коэффициенте уплотнения	0,80 – 0,82 (80 ÷ 82 %)	—	1,5	5,0
	1,0 (100 %)	5,8	—	22,4

Таблица 1.

им подобных символы  $\Delta_E$  и  $\Delta_h$  с их единичными значениями удобно и можно опустить, но следует при этом соблюдать соответствующую размерность других входящих в эти формулы параметров и не забывать об этом.

В (5) символом  $p_k$  обозначен конструктивный (зависит только от параметров конструкции катка) показатель уплотняющей способности катка (в статике  $p_{ks}$  при вибрации или в динамике  $p_{kd}$ ) или попросту индекс его средних контактных давлений на слой асфальтобетона толщиной 1 см с условным модулем деформации самого асфальтобетона 1 кгс/см<sup>2</sup>.

В соответствии с (5) этот индекс можно вычислить достаточно просто

$$p_k = \sqrt{\frac{R_0^2 \cdot \Delta_h}{B^2 \cdot D \cdot \Delta_E}} = \sqrt{\frac{R_0^2}{B^2 \cdot D}} \quad (6)$$

При подстановке в (6)  $R_0$  в кгс,  $B$  и  $D$  в см,  $\Delta_E$  в кгс/см<sup>2</sup> и  $\Delta_h$  в см, значение  $p_k$  получается в кгс/см<sup>2</sup>, легко переводимые, к примеру, в кПа или МПа.

Показатели  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$  универсальны и удобны тем, что они ставят все катки, вне зависимости от их размеров, веса и вибрационных параметров, в одинаковые функциональные условия их работы и поэтому эти показатели объективно отражают имеющиеся различия катков. По этим показателям легко можно подбирать нужные их образцы для конкретных условий работы, используя (5) и данные уплотняемого материала на любой из стадий или фаз укатки (толщина слоя, предел прочности на сжатие, модуль деформации).

Критерием успешного уплотнения, в частно-

сти, асфальтобетона должно служить условие (см. каталог-справочник «Дорожная техника и технология» за 2003 год)

$$\sigma_{kp} = \frac{3}{2} \cdot p_k \cdot \sqrt{\frac{E_1}{h_0}} \leq \sigma_{cr}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{kp} = (0,65 \div 0,75) \sigma_p$ , причем меньшие и средние значения используют для мелкощепенистых и песчаных смесей, а средние (0,70) и большие (0,75) — для щебенистых смесей типов А и Б;

$\sigma_p$  — предел прочности (разрушения) асфальтобетонной смеси в момент ее укатки;

$\sigma_{kp}$  — критические контактные давления, при превышении которых в асфальтобетоне начинают развиваться недопустимые пластические сдвиги, трещины и тому подобные дефекты, легко видимые иногда при укатке покрытия.

Можно использовать и другое аналогичное условие через предельные величины деформации слоя  $[\varepsilon_0]$  или его осадки  $[\delta_0]$  (здесь  $\Delta_E$  и  $\Delta_h$  опущены)

$$\varepsilon_0 = \frac{\delta_0}{h_0} = 0,93 \cdot p_k \cdot \sqrt{\frac{I}{E_1 \cdot h_0}} \leq [\varepsilon_0] \quad (8)$$

$$\sigma_{cr} \text{ (или } \delta_{0d}) = 0,93 \cdot p_{kd} \cdot \sqrt{\left(\frac{h_0}{E_1}\right)^2} \leq [\delta_0] \quad (9)$$

где  $\varepsilon_0$ ,  $\delta_0$  — полная (упругая и остаточная) статическая через  $p_{ks}$  или динамическая через  $p_{kd}$  деформация или осадка слоя асфальтобетона толщиной  $h_0$ .

Если известны толщина слоя, модуль деформации асфальтобетона и хотя бы еще одна из трех его характеристик —  $\sigma_p$ ,  $[\varepsilon_0]$  или  $[\delta_0]$ , тогда по (7), (8) или (9) можно найти требуемые значения  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$  статического или вибрационного катка для практической реализации эффективного и качественного его уплотнения.

И уже по найденным  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$  можно подбирать нужный каток из числа имеющихся или конструировать новый образец.

К сожалению, из российских и зарубежных литературных источников надежных и нужных сведений о прочностных и деформативных свойствах и показателях горячего асфальтобетона в различные моменты и фазы его уплотнения собрать не удалось.

Правда, имеются нормативные значения требуемых показателей прочности асфальтобетона на сжатие при +50; +20 и 0 °С, получаемых в лабораторных испытаниях цилиндрических образцов при скоростях деформирования 3; 10; 50 и даже 100 мм/мин. Результаты таких испытаний пригодны в основном для относительного сравнения и оценки изменения свойств асфальтобетона и выявления влияния на них его гранулометрического состава, типа и количества битума, различного рода добавок и модификаторов. Использовать такие данные для решения задач по уплотнению асфальтобетона в покрытии катками невозможно по целому ряду причин.

Во-первых, скорости деформирования лабораторного образца асфальтобетона, существенным образом влияющие на значения прочности (табл. 1, по экспериментам в стабилометре проф. Пермякова В.Б.) и модуля деформации, слишком малы по сравнению с подобными реальными скоростями под вальцами статических (до 2000–3000 мм/мин) и вибрационных (до 5000–6000 мм/мин) катков.

Во-вторых, нормативные данные не охватывают тот диапазон температур (140–60 °С), в рамках которого ведется укатка асфальтобетона в покрытии. И наконец, в-третьих, лабораторные испытания выполняются по схеме одноосного сжатия на прессе свободно стоящего цилиндрического образца, а под вальцом катка асфальтобетон деформируется по схеме двухосного сжатия, да еще и с некоторым одновременным его поверхностным сдвигом. Это нужно учитывать для правильной интерпретации экспериментальных результатов и соответствующего выбора значений модуля деформации

уплотняемого в дороге асфальтобетона.

И все же, есть ряд экспериментальных результатов (проф. Хархута Н.Я., Пермяков В.Б. и другие), по которым можно полагать следующие сведения более или менее надежными:

- прочность уплотняемой асфальтобетонной смеси от начала (плотность около 0,90–0,91 и температура 135–130 °С) до конца этой операции (плотность примерно 0,99–1,0 при температуре 75–70 °С) возрастает в 3,5–4,0 раза, а модуль деформации — в 13–15, а иногда и более раз;
- начальная для укатки прочность на сжатие щебенистого асфальтобетона очевидно близка к 7,5–8,0 кгс/см<sup>2</sup>, а в конце этой операции — к 29–34 или в среднем 30–32 кгс/см<sup>2</sup>, что и дает указанное увеличение прочности в 3,5–4 раза;
- начальное значение модуля деформации того же щебенистого асфальтобетона и тоже сразу за асфальтоукладчиком может составлять 60–80 кгс/см<sup>2</sup>, а в конце операции уплотнения — примерно 900–1100 кгс/см<sup>2</sup>;
- для практической реализации технологии высококачественного и эффективного уплотнения щебенистого асфальтобетона в покрытии максимальные контактные давления вальцов статиче-

ских и вибрационных катков не должны быть больше так называемых критических значений, равных 5,5–6,0 кгс/см<sup>2</sup> (начало укатки) и 22–23 кгс/см<sup>2</sup> (конец укатки) на слоях любой толщины, так как прочностные и деформативные свойства самого асфальтобетона в слоях, к примеру, 3 и 12 см остаются одними и теми же;

- при устройстве покрытий из малощебенистых и песчаных смесей критические контактные давления катков следует снизить на 15–20%, т. е. они должны быть в пределах 4,5–5,0 (начало уплотнения) и 18–20 кгс/см<sup>2</sup> (конец укатки), а значения их модулей деформации подлежат такой же корректировке;

- приведенным ориентировочным значениям пределов прочности щебенистого асфальтобетона соответствуют предельные величины вертикальных деформаций и осадок слоя, по опытам в стабилометре, доходящие, при однократном или одноцикловом нагружении, до 4,5–5,0%, однако с учетом сдвиговых волнообразований поверхности под вальцами катков величины допустимых деформаций следует, очевидно, увеличить до 5,5–6,0% для начальной и примерно до 1,0–1,5% для завершающей стадии укатки.

Все эти данные послужили основой для определе-

ния оптимальных значений индекса контактных давлений статических катков  $p_{ks}$  для уплотнения щебенистых асфальтобетонов слоями раз-

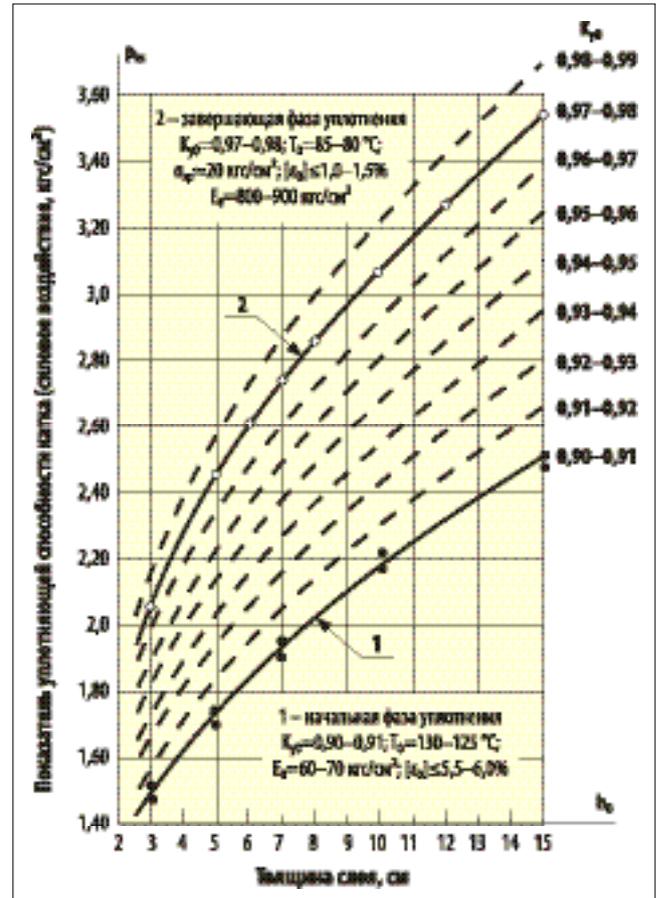


Рис. 4. Оптимальные значения индекса контактных давлений статического гладковальцового катка в зависимости от толщины слоя и плотности щебенистого асфальтобетона типов А и Б.

Примерное состояние асфальтобетонной смеси на различных фазах статического или вибрационного ее уплотнения	Натт HD75 на слое 4–5 см								Дупарас СС422 на слое 7–8 см							
	статика				вибрация				статика				вибрация			
	$p_{ks}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$\delta_{os}$ , мм	$R_0=Q_{в.}$ , тс	$\sigma_{os}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$p_{kd}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$\delta_{od}$ , мм	$R_0=Q_{в.}+R_{в.}$ , тс	$\sigma_{od}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$p_{ks}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$\delta_{os}$ , мм	$R_0=Q_{в.}$ , тс	$\sigma_{os}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$p_{kd}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$\delta_{od}$ , мм	$R_0=Q_{в.}+R_{в.}$ , тс	$\sigma_{od}$ , кгс/см <sup>2</sup>
После укладчика $K_{y0}=0,91$ ; $E_0 \approx 60$ кг/см <sup>2</sup>	1,65	2,73	3,8	5,9	2,38	3,93	6,6	8,5	1,95	4,53	5,2	5,9	2,55	5,93	7,8	7,7
После статич. подкатки $K_{y0}=0,94$ ; $E_0 \approx 135$ кг/см <sup>2</sup>	1,65	1,59	3,8	7,7	2,21	2,13	5,9	10,3	1,95	2,64	5,2	7,7	2,61	3,53	8,1	10,3
Середина уплотнения $K_{y0}=0,96-0,97$ ; $E_0 \approx 310$ кг/см <sup>2</sup>	1,65	0,91	3,8	10,2	2,71	1,50	8,0	16,7	1,95	1,52	5,2	10,1	2,74	2,13	8,7	14,2
Ближе к концу укатки $K_{y0}=0,98-0,99$ ; $E_0 \approx 615$ кг/см <sup>2</sup>	1,65	0,58	3,8	12,8	2,45	0,86	6,9	19,0	1,95	0,96	5,2	12,7	3,19	1,57	10,9	20,8
Завершение укатки $K_{y0}=0,99-1,0$ ; $E_0 \approx 850$ кг/см <sup>2</sup>	1,65	0,47	3,8	14,2	2,71	0,77	8,0	23,3	1,95	0,78	5,2	14,2	2,89	1,15	9,4	21,0

Таблица 2.



Тандемный виброкаток HD 75 фирмы Hammm для уплотнения слоев 4–6 см.

личной толщины, имеющих в процессе их укатки разную плотность и соответствующую температуру в интервале от 135–130 до 75–70 °С (рис. 4).

Для перевода статического  $p_{ks}$  в эквивалентное динамическое  $p_{kd}$  можно воспользоваться отношениями  $p_{kd}/p_{ks}$ , учитывающими реологию асфальтобетона и равными 1,03 для начала, 1,06 для середины и примерно 1,09 – 1,10 для конца укатки, что дает разницу между общими статическими и динамическими силами воздействия на один и тот же уплотняемый слой асфальтобетона соответственно в 5, 9 и 14 – 15%.

Функциональная оценка и практический подбор катков, осуществляемые фирмой «ВАД» в течение последних двух лет по оптимальным значениям  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$  (рис. 4)



Тандемный виброкаток CC 422 фирмы Дунарас с увеличенным диаметром вальцов (1300 мм).

для конкретных толщин слоев асфальтобетона на своих объектах, полностью себя оправдали и позволили стабильно реализовывать высокие показатели плотности покрытия.

Покупка новых моделей виброкатков тоже производится фирмой по изложенной методологии. Большинство выпускаемых за рубежом таких моделей имеют показатели уплотняющей способности или индексы контактных давлений для оптимальных слоев 6–9 см и больше, которые являются преобладающими при устройстве асфальтобетонных покрытий в Европе и Америке. В России же в основном пока укладывают слои 4–6 см и редко чуть больше. Поэтому зачастую приобретаемые россиянами зарубежные виброкатки по своим статическим и динамическим параметрам не всегда и не во всем оказываются подходящими и эффективными.

В 2004 г. ЗАО «ВАД» приобрело виброкатки HD75 фирмы Hammm именно потому, что они имеют оптимальную толщину уплотняемого слоя 4–5 см. Это как раз то, что сейчас нужно многим подрядчикам российской дорожной отрасли, о чем свидетельствуют положительные отзывы и отклики тех из них, кому фирмой «ВАД» было рекомендовано приобрести HD75.

Каждый из существующих сегодня вибрационных или статических катков в соответствии со своими значениями  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$  имеет вполне конкретную оптимальную толщину уплотняемого слоя, на котором он способен обеспечить самое высокое качество. Его использование на слоях иной толщины приводит к снижению этого качества и тем значительнее, чем больше разница между толщинами оптимальных и реальных слоев. Правда, при небольшой разнице в этих слоях потерю качества можно частично компенсировать увеличением работы (количества проходов) катка. Но это будет возможно в основном на слоях несколько больших оптимального, а на заметно меньших слоях такой компенсации не будет.

В табл. 2 приведены расчетные значения контактных давлений на различных фазах статического и вибрационного уплотнения щебенистого асфальтобетона двумя катками — HD75 и CC422, которые эксплуатируются ЗАО «ВАД» и для которых оптимальные толщины слоев составляют соответственно 4–5 и 7–8 см. Данные таблицы свидетельствуют, что при укатке своих оптимальных слоев этими различными по параметрам виброкатками их статические контактные давления оказываются полностью совпадающими на любой фазе уплотнения, а динамические давления хотя и достаточно близки между собой, но имеют все же некоторую разницу, особенно в середине и в конце виброукатки, что объясняется неадекватностью их вибрационных параметров.

Еще более наглядным в этом плане является сравнение (или испытание) трех виброкатков фирм Bomag (каток BW174AD), Дунарас (CC422HF) и Hammm (DV 08V), устроенное известной шведской фирмой NCC в сентябре 2002 г. в г. Мальме (Швеция)\*. Каждый из этих виброкатков имел свою специфическую конструктивную особенность. В частности, BW174AD имеет один вибровалец с обычными круговыми колебаниями, а другой — с направленными колебаниями, вектор которых можно изменять. У CC422HF оба вальца совершают круговые колебания, но с повышенной частотой (62 Гц против 50 Гц у других катков).

Виброкаток Hammm оснащен передним вальцом с круговыми колебаниями, а задний совершает осцилляторные (вращательные) колебания, создавая нагружение материала по принципу «сжатие + реверсивный сдвиг».

Каждый из катков имел свой участок работы длиной 30 м и шириной 4 м. Все они перемещались с одинаковой рабочей скоростью и совер-

\* Шведское качество российских дорог. Журнал «Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области», № 59, февраль 2003, стр. 28–29.

шали одинаковое количество проходов. Степень уплотнения измерялась после 2, 4, 6 и 8 проходов неразрушающим методом с помощью электронного инструмента Pavement Densig Meter (PDM). Уплотнялись слои покрытия двух толщин — 70 мм (нижний слой из асфальтобетона типа Viacobase) и 30 мм (верхний слой из асфальтобетона типа АВТ-11).

По итогам этих своеобразных состязаний трех катков на слое 3 см первое место эксперты отдали катку Bomag, как наиболее быстро достижимому оптимальной степени уплотнения, а на слое 7 см первенство досталось катку Hamm, как имеющему, по оценкам экспертов, более щадящие режимы уплотнения и обеспечивающему лучшую структуру поверхности укатки (лучшая отделка). Наиболее благоприятный общий итог (на слоях 3 и 7 см) и ожидаемую победу эксперты присудили виброкатку DV 08V фирмы Hamm.

Чтобы объяснить и понять полученные результаты и заключения экспертов, целесообразно обратиться к данным табл. 3, в которой приведены расчетные статические и динамические силовые параметры этих катков при уплотнении слоев 3 и 7 см, в том числе контактные давления их вальцов.

Наименьшие значения последних на обоих слоях имеет виброкаток Bomag, наибольшие — самый динамичный

Hamm, а виброкаток Дупарас занимает промежуточное положение. В статическом режиме работы катка Bomag оптимальный слой уплотнения составляет примерно 6,5 см, а с вибрацией (середина виброукатки) — только 5 см. Очевидно, поэтому этот каток лучше (быстрее) других уплотнял слой 3 см и, вероятнее всего, хуже других слой 7 см, на котором его контактные динамические давления составляют в конце операции всего 16 кгс/см<sup>2</sup> при потребных 22–23 кгс/см<sup>2</sup>.

Для виброкатка Дупарас в статике оптимальный слой равен 7 см, а при вибрации — около 8 см, т. е. для эффективного и высококачественного уплотнения слоя 3 см он явно не очень пригоден, о чем и свидетельствуют значительные величины его динамических контактных давлений — около 26 кгс/см<sup>2</sup> в конце укатки. На слое 7 см результат работы катка Дупарас мог быть заметно лучше, если бы его рабочая скорость соответствовала высокой частоте колебаний вальца (62 Гц), т. е. была бы выше на 25–30 %, чем у других виброкатков, а количество его проходов при двух вибрирующих вальцах не превышало 4–6.

У виброкатка Hamm оптимальный слой уплотнения должен быть 6,5–7,0 см при статической укатке и около 9–9,5 см при работе с вибрацией. Его контактные динамические давления на слое 3 см чрезмерно высоки (28 кгс/см<sup>2</sup>



Тандемный виброкаток фирмы Bomag.

в конечной фазе уплотнения), а на слое 7 см они меньше и ближе к рекомендуемым, исходя из прочности асфальтобетона. К тому же следует иметь в виду, что у этого катка



Один из серии тандемных виброкатков DV фирмы Hamm с двойной вибрацией — передний валец с обычными круговыми, а задний — с осцилляторными (вращательными) колебаниями.

Слой смеси, см	Модель Виброкатка	Начало виброукатки, T=133–130 °C; E <sub>0</sub> ≈55–65 кгс/см <sup>2</sup>					Середина виброукатки, T=105–100 °C; E <sub>0</sub> ≈300–320 кгс/см <sup>2</sup>					В конце виброукатки, T=90–85 °C; E <sub>0</sub> ≈600–630 кгс/см <sup>2</sup>				
		P <sub>кs</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	P <sub>кd</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	R <sub>0</sub> тс	σ <sub>ос</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	σ <sub>од</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	P <sub>кs</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	P <sub>кd</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	R <sub>0</sub> тс	σ <sub>ос</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	σ <sub>од</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	P <sub>кs</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	P <sub>кd</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	R <sub>0</sub> тс	σ <sub>ос</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	σ <sub>од</sub> , кгс/см <sup>2</sup>
3	Bomag BW174AD	1,88	2,41	7,0	7,3	9,4	1,88	2,51	7,4	12,8	17,1	1,88	2,84	8,9	16,3	24,7
	Дупарас СС422HF	1,95	2,86	9,2	7,6	11,2	1,95	2,68	8,4	13,3	18,3	1,95	2,96	9,8	17,0	25,8
	Hamm DV 08V	1,90	2,54	7,5	7,4	9,9	1,90	3,05	9,8	13,0	20,8	1,90	3,22	10,6	16,5	28,0
7	Bomag BW174AD	1,88	2,29	6,4	5,6	6,8	1,88	2,55	7,6	9,6	13,1	1,88	2,45	7,1	12,3	16,1
	Дупарас СС422HF	1,95	2,55	7,8	6,3	7,7	1,95	2,96	9,7	10,0	15,2	1,95	3,17	10,8	12,8	20,8
	Hamm DV 08V	1,90	2,82	8,7	5,7	8,3	1,90	3,0	9,5	9,7	15,4	1,90	3,59	12,5	12,5	23,5

Таблица 3.

главную работу по деформированию (уплотнению) слоя асфальтобетона выполнял только один передний валец с круговыми колебаниями, а задний с осцилляторными реверсивными движениями и с более мягкими и меньшими силовыми нагрузками являл собой своеобразного «санитара», сразу же залечивающего различного рода «ранки» и исправляющего поверхностные дефекты (разуплотнения, сдвиги, трещины), возникающие от перегрузок асфальтобетона передним вальцом. Об этом свидетельствует двухлетний опыт эксплуатации фирмой «ВАД» подобного осцилляторного виброкатка HDO75V той же фирмы Hamt. Очевидно, это и предопределило решение экспертов отдать общую пальму первенства катку Hamt.

Примерно таким же путем (оперативное исправление потенциальных дефектов укатки, т. е. того, что испорчено или недоработано виброкатком) фирма «ВАД» решила минимизировать последствия несовершенства имеющихся виброкатков и недостатков технологии уплотнения ими горячих асфальтобетонных смесей в покрытии. Для этого была разработана новая или, точнее, усовершенствованная модификация этой технологии. Суть ее состоит в двух принципиальных изменениях по сравнению с реально применяемой повсеместно в мире технологией:

- каждый статический или вибрационный каток в обязательном порядке подбирается по индексу контактных давлений для конкретной толщины укладываемого слоя в покрытие и состояния асфальтобетонной смеси по плотности и температуре в любой момент или на любой фазе и стадии ее укатки;
- пока виброкатки по своим функционально-технологическим параметрам и свойствам еще не стали самыми оптимально эффективными и совершенными средствами уплотнения асфальтобетона, необходимо вслед за каждым из них использовать статический гладковальцовый каток тяжелого типа с контактными давлениями, соответствующими толщине слоя и состоянию асфальтобетона на завершающей стадии его укатки.

Помимо «санитарной» функции тяжелый статический каток призван своей работой на завершающей стадии довести плотность асфальтобетонного покрытия до более высокого уровня, чем минимально требуемый по нормам ГОСТ и СНиП (для щебенчатых смесей не менее 0,99, или 99%). И еще очень важную и полезную работу совершает этот каток, осуществляя силовой тренинг асфальтобетона и формируя сразу более прочную (на 25–30%) и устойчивую его структуру, что позитивным образом отражается на его долговечности. Нечто

подобное производят колеса автотранспорта в первые годы эксплуатации покрытия. Аналогичную картину имеет дорожник после нескольких десятков проходов тяжелого статического катка или после сотен проездов груженого автотранспорта по щебеночно-основанию, формирование улучшенной структуры которого повышает его модуль упругости в несколько раз.

Для практической реализации этой усовершенствованной технологии на всех своих объектах 2004 г. к имеющимся более чем трем десяткам пневмоколесных и вибрационных катков ЗАО «ВАД» дополнительно приобрело уже упоминавшиеся два виброкатка HD75 и еще пять статических катков CS 141/CS 142 Dynapac.

Последние катки дают возможность за счет балласта изменять их общий вес в пределах 10,8–13 т, что позволяет эффективно вести укатку щебенчатого асфальтобетона на завершающей стадии слоями толщиной от 4–5 до 7–8 см.

Каждый отряд уплотняющей техники за укладчиком для полосы укладки шириной до 4,5–5 м в фирме «ВАД» формируется из двух катков — вибрационного с соответствующими весовыми и вибрационными параметрами сообразно толщине слоя устраиваемого покрытия и статического CS 141/CS 142 с предварительно подготовленным его общим весом для той же толщины укладываемого слоя.

Обычно виброкаток сначала в статическом режиме выполняет за 2–3 прохода предварительную подкатку горячей смеси, после чего включает вибратор и совершает 4–6 проходов в динамическом режиме уплотнения. Причем, для повышения ровности покрытия проходы с вибрацией выполняются при его перемещении от укладчика, т. е. с наиболее горячей смеси в сторону частично уже остывшей, что снижает накат сдвиговой волны. Перемещение катка к укладчику идет без вибрации. Таким образом, виброкаток в статике и с вибрацией выполняет в общей сумме не менее 8–10 проходов, реализуя основной свой потенци-



Катки вибрационные HD 75 и статические CS 141/142 уплотняют асфальтобетон по новой технологии ЗАО «ВАД».

алпоуплотнению слоя асфальтобетона. Вслед за виброкатком свою работу совершает и статический каток тяжелого типа за 4–8 проходов по следу, но на несколько меньшей рабочей скорости (3–4 км/ч), чем виброкаток.

По такой технологии устроены асфальтобетонные покрытия на всех объектах ЗАО «ВАД» в 2004 г. (212 км, приведенных к ширине 8 м), в том числе в октябре верхние слои толщиной 5–7 см на 10,5 км кольцевой автомобильной дороги (КАД) г. Санкт-Петербурга и на примыкании к ней со стороны проспекта Энгельса. Контроль качества покрытия независимой экспертизой показал, что коэффициент уплотнения асфальтобетона в 95% отбуренных кернов имел значения 1,0–1,02 (100–102%) и только в 5% в пределах 0,995–1,0 (99,5–100%).

На рис. 5 дано графическое распределение значений коэффициента уплотнения асфальтобетона нижних и верхних слоев покрытий на всех 63 км двух федеральных дорог «Кола» (Санкт-Петербург-Мурманск) и А114 (Вологда-Нов. Ладога), которое также подтверждает высокую эффективность и надежность усовершенствованной технологии уплотнения, гарантирующую устойчивую реализацию более высоких показателей качества уплотнения, чем минимально требуемые по нормам.

На рис. 6 тоже показано качество уплотнения верхнего слоя покрытия толщиной 4 см из асфальтобетона типа Б на всех 12 км одной из территориальных дорог Карелии. Примечательно, что при полном составе отряда катков за укладчиком (для новой технологии уплотнения на ширине 8 м использовались два вибрационных и два тяжелых статических) плотность асфальтобетона оказалась в диапазоне 0,99–1,01 (кривая 1). Стоило мастеру из-за поломки временно убрать один виброкаток с полосы укатки, как показатели плотности на этом участке сразу же существенным образом ухудшились до фактического брака (кривая 2).

Несмотря на очевидные достоинства и преимущества

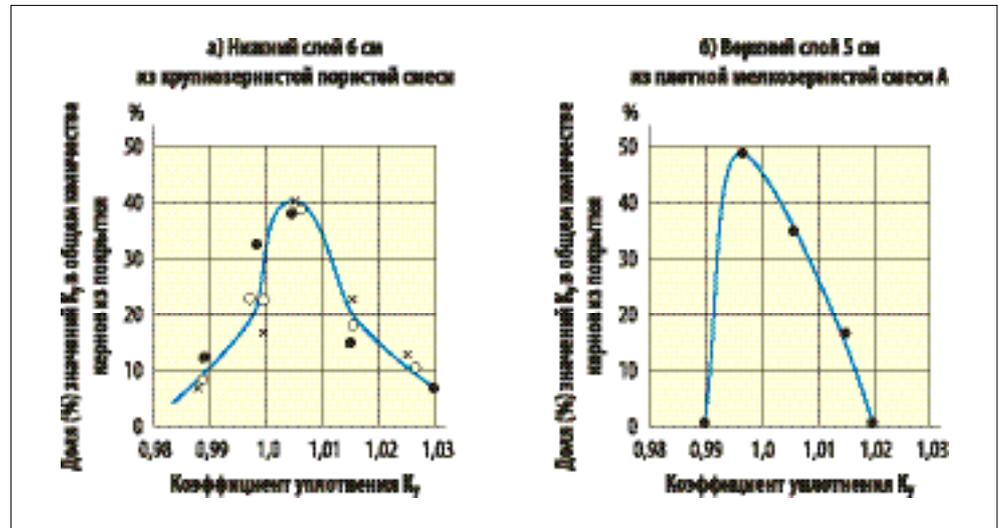


Рис. 5. Практические значения коэффициента уплотнения ( $K_d$ ) асфальтобетона нижних (а) и верхних (б) слоев покрытий на 63 км двух федеральных дорог, устроенных в 2004 г. по новой технологии укатки.

технологических нововведений ЗАО «ВАД», сегодня, даже при имеющемся многообразии моделей и типоразмеров виброкатков разных фирм и стран, бывает достаточно сложно и трудно выбрать нужный образец с такими значениями  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$ , которые бы более или менее точно соответствовали конкретной толщине уплотняемого слоя.

Есть виброкатки легкие с малыми значениями  $p_{ks}$ , но чрезвычайно динамичные в вибрационном режиме, обеспечивающем высокое  $p_{kd}$ . Наоборот, можно найти тяжеловесные модели (высокий  $p_{ks}$ ), но с менее «агрессивным» (слабым) вибрационным режимом (низкое  $p_{kd}$ ). Как правило, и то, и другое плохо для качества уплотнения асфальтобетона. Значения этих статических и вибрационных параметров должны быть адекватны друг другу, соответствовать толщине слоя и состоянию асфальтобетона по плотности и температуре той фазы укатки, на которой «трудятся»  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$ .

Кроме того, они взаимозависимы друг от друга и не могут быть назначены произвольно. Эти показатели являются как бы «равноправными и гармонично дополняющими друг друга членами одной команды силовых воздействий виброкатка», совместно обеспечивающими требуемое качество уплотнения асфальтобетона.

Целесообразный выход из имеющихся сложностей по реализации и внедрению новых подходов в технологии укатки асфальтобетона, который используют специалисты ЗАО «ВАД», состоит в объединении нескольких близких слоев по толщине в определенную группу, в которой отклонение от среднего значения толщины не будет превышать  $\pm 0,5$  см (малые толщины) и  $\pm 1,0$  см (более толстые слои). Нужный для всей группы виброкаток с соответствующими  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$  подбирается

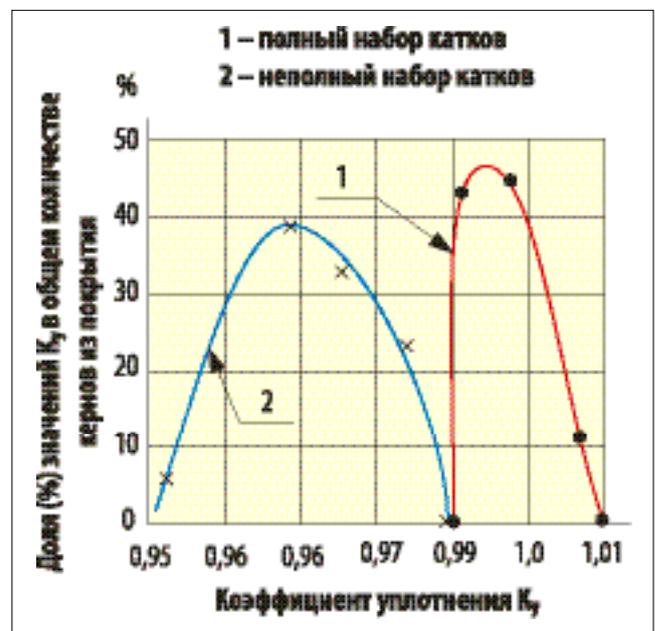


Рис. 6. Качество уплотнения верхнего слоя 4 см асфальтобетона типа Б на 12 км одной из территориальных дорог.

по средней толщине группы, а практическое уплотнение асфальтобетона этим катком выполняется на всех слоях, входящих в группу.

В табл. 4 такие группы слоев приведены вместе с найденными для них по графикам рис. 4 значениями оптимальных  $p_{ks}$  и  $p_{kd}$ . В качестве примера здесь же даны результаты расчетов потребных значений силовых параметров трех типоразмеров виброкатков для эффективной укатки щебенястых асфальтобетонов средними слоями от 3 до 12 см. Эти данные показывают, что с ростом толщины слоя в 4 раза значения силовых показателей, в том числе и общий вес виброкатка, должны быть увеличены в 2 раза.

Конечно, ранее (2002–2003 гг.) предложенная специалистами ЗАО «ВАД» идея создать универсальный виброкаток с регулируемыми общим весом и динамическими силами для уплотнения различных по толщине слоев асфальтобетона явно трудно реализуема для диапазона толщин от 3 до 12 см из-за необходимого увеличения только веса катка в 2 раза.

Однако выход в этом плане есть, и он состоит в том, что весь диапазон толщин, к примеру, от 2,5 до 10 см разбивается на две части — одна со средними значениями толщин 3 и 6 см, а другая — 6 и 9 см. Для каждой из них создается свой каток с возможностью регулирования его общего веса, например, у типоразмера с вальцами 1450×1140 мм от 5,5 до 7,5 т (для средних толщин слоев 3 и 6 см) и от 7,5

до 9,5 т (для 6 и 9 см). Толщины слоев 11–13 см (средний 12 см), как редко устраиваемые дорожниками России и других стран, из этой схемы исключены. К тому же их укатка выполняется при более высоких температурах асфальтобетона (медленнее остывают) и поэтому возможно использование виброкатков, предназначенных для уплотнения слоев толщиной 10 см. И, наконец, общий толстый слой 12 см иногда, в целях повышения ровности покрытия, целесообразно укладывать и уплотнять в два слоя, чем часто и пользуются российские дорожники.

Изменение общего веса за счет балласта у образца с вальцами 1450×1140 мм на 2 т или на 2,3–2,5 т у виброкатка с вальцами 1680×1200 мм может стать вполне реальным для практического воплощения идеи более универсального катка. А подобное же регулирование центробежной силы не должно оказаться более сложным и трудным, чем осуществляемая регулировка этой силы на уже имеющихся виброкатках.

Фирма, освоившая выпуск любого типоразмера виброкатка А (для средних слоев 3 и 6 или реальных от 2,5 до 7 см) и виброкатка Б (от 5 до 10 см), даст возможность дорожнику самому выбирать на рынке ту модификацию виброкатка (А или Б), которая больше всего нужна ему для реальной практики.

Таким образом, новая или усовершенствованная ЗАО «ВАД» технология высококачественного уплотнения асфальтобетона в дорожных

покрытиях, опробованная на практике в 2004 г. на многочисленных объектах и километрах российских дорог Северо-Западного региона и доказавшая свою высокую эффективность, показывает технологическую и экономическую целесообразность или даже явную потребность в разработке и выпуске более универсальных виброкатков, пригодных для укатки тонких и средних или средних и толстых слоев асфальтобетона. Дело только за фирмами — производителями уплотняющей техники.

Такие универсальные катки должны на рынке пользоваться довольно широким спросом у дорожников по двум причинам. Во-первых, у дорожника появляется власть над технологией уплотнения и эффективный инструмент управления ею с целью повышения качества асфальтобетонного покрытия. И, во-вторых, ему не нужно будет иметь в своем парке многочисленные и разнообразные типоразмеры и образцы катков, и тратить средства на их приобретение.

Практический опыт и знания специалистов ЗАО «ВАД» дают основание для важного дополнительного вывода. За исключением, пожалуй, только США, дорожники многих стран, в числе которых и Россия, преждевременно и незаслуженно отказались от услуг полезных гладковальцовых катков статического типа, иногда очень нужных наравне с виброкатками. Доказательством этого является изложенная новая технология уплотнения.

Толщина слоя уплотнения щебенястого асфальтобетона, см	Фаза статического и вибрационного уплотнения	Оптимальный индекс контактных давлений, кгс/см <sup>2</sup>	Силы воздействия виброкатка с вальцами (В × D, мм)								
			1450×1140			1680×1200			2140×1400		
			Q, т	R <sub>од</sub> , тс	P <sub>о</sub> , тс	Q, т	R <sub>од</sub> , тс	P <sub>о</sub> , тс	Q, т	R <sub>од</sub> , тс	P <sub>о</sub> , тс
2,5÷3,5; в среднем 3,0	Начало статикой	$p_{ks}=1,45-1,50$	5,5	—	—	6,5	—	—	9,0	—	—
	Середина виброукатки	$p_{kd}=2,10$	—	4,7	3,6	—	5,5	4,1	—	7,6	5,6
5,0÷7,0; в среднем 6,0	Начало статикой	$p_{ks}=1,80-1,82$	7,5	—	—	9,0	—	—	12,3	—	—
	Середина виброукатки	$p_{kd}=2,65$	—	6,7	5,4	—	8,0	6,4	—	10,9	8,7
8,0÷10,0; в среднем 9,0	Начало статикой	$p_{ks}=2,10-2,12$	9,5	—	—	11,3	—	—	15,5	—	—
	Середина виброукатки	$p_{kd}=3,0$	—	8,1	6,1	—	9,7	7,2	—	13,2	9,9
11,0÷13,0; в среднем 12,0	Начало статикой	$p_{ks}=2,31-2,33$	11,0	—	—	13,0	—	—	18,0	—	—
	Середина виброукатки	$p_{kd}=3,28-3,30$	—	9,4	7,2	—	11,0	8,2	—	15,2	11,2

**Примечание.** Q — общий вес катка; R<sub>од</sub> — общая сила динамического воздействия вальца катка; P<sub>о</sub> — центробежная сила вибровозбудителя вибровальца.

Таблица 4.