



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



Пахаренко Д. В.,  
инженер-технолог.  
(ЗАО «ВАД», г. Санкт-Петербург)

## ЧЕМ И КАК УПЛОТНЯТЬ АСФАЛЬТОБЕТОН В ПОКРЫТИЯХ ПРИ СМЕНЕ ЕГО ТИПА, СОСТОЯНИЯ И ТОЛЩИНЫ СЛОЯ

Уплотнение асфальтобетонных смесей при строительстве и ремонте автомобильных дорог является фактически ключевой технологической операцией с точки зрения прочности, устойчивости, надежности и долговечности их оснований и покрытий.

Качеству уплотнения асфальтобетона всегда и везде уделялось, а в России особенно сегодня уделяется самое серьезное внимание, так как даже незначительное недоуплотнение порождает ухудшение прочности асфальтобетонного материала и ведет к довольно заметному снижению срока службы покрытия (табл. 1). Вследствие этого фирма «ВАД» для всех своих объектов приняла повышенный норматив уплотнения асфальтобетона (не менее 1,0 – 1,01) по сравнению с минимально требуе-

мым (0,98 – 0,99) российскими ГОСТ и СНиП. И это явилось одной из предпосылок повышения в 2 раза гарантийных сроков на объектах ЗАО «ВАД» (7 – 8 лет вместо средних по России 3 – 4 лет).

Вообще умелое и высококачественное уплотнение горячего асфальтобетона на дороге следует считать большим достижением дорожного подрядчика, и оно, в некотором смысле, может квалифицироваться как высокое техническое искусство. Ведь уплотнять приходится асфальтобетонные смеси разного гранулометрического или зернового состава (щебенистые, малощебенистые, песчаные, а теперь еще и щебнемастичные или ЩМАС), для приготовления которых может быть использован нефтяной битум разных марок (БНД90/130, БДУ70/100, БДУС70/100, БНД60/90, БНД40/60, полимербитумное вяжущее ПБВ, резинобитумное вяжущее РБВ или вяжущее с другими специальными добавками — модификаторами).

Не следует также забывать, что многие из этих смесей могут быть плотными, пористыми или высокопористыми. При этом их укладка в верхнюю асфальтобетонную часть основания, нижние или верхние слои покрытия в соответствии с проектом может быть различной толщины (практически от 2 – 3 до 13 – 15 см). И все это в той или иной степени влияет или отражается на прочностных и деформативных свойствах асфальто-

бетонных смесей, уплотнять которые дорожник должен всегда достаточно качественно, используя порой ограниченный набор своих дорожных катков как по типу (номенклатуре), так и по количеству.

Какие же средства, с точки зрения качества уплотнения асфальтобетона и эффективности используемых технологий, дорожники применяли ранее (вчера), что они имеют сегодня и что им потребуется завтра?

В прошлом у дорожников была единственная, но, по теперешним оценкам, отсталая статическая технология уплотнения, сегодня — признанная всеми прогрессивной ударно-вибрационная технология, правда, уже не в полной мере устраивающая дорожную практику вследствие выявленных в последнее время функционально-технологических недостатков виброркатков, а завтра должна быть более совершенная и, видимо, комбинированная ударно-вибро-статическая технология с более универсальными катками, обладающими широкими возможностями регулирования уплотняющих усилий, в том числе в автоматическом режиме. Такие модели виброркатков уже созданы американскими фирмами Ingersoll-Rand (I-R), Bomag Americas и Caterpillar (Cat), появились и «умные» самонастраивающиеся виброркатки немецких фирм Bomag и Ammann, японской фирмой Sakai сделана попытка перевести обычный статический самоходный пнев-



мокаток в более эффективное средство динамического (вибрационного) уплотнения (рис. 1) [1, 2].

В менее производительной и вяло протекающей статической технологии нужно было обязательно использовать три разных по весу катка — легкий, средний и тяжелый. Так регулировалось уплотняющее воздействие на асфальтобетон.

По мере повышения плотности и снижения температуры смеси под статическим катком величина осадки поверхности укатки уменьшается, что ведет к сокращению контактной площадки вальца с поверхностью качения до 1,3 – 1,4 раза. На такую же долю возрастает контактное давление катка, но этого явно недостаточно для эффективного продолжения уплотнения одним и тем же статическим катком потому, что общий рост прочности асфальтобетона за весь цикл его укатки доходит обычно до 3,5 – 4,0 раз. Поэтому работающий каток надлежало своевременно заменить на более тяжелую модель. И делать это приходилось дважды в течение всего цикла укатки.

Многочисленными экспериментами и практическим опытом было установлено, что, если эти три правильно подобранных tandemных катка в рамках рационального диапазона температур смеси для укатки (от 140 – 130 до 70 – 60 °С) сумеют вместе выполнить 20 – 24 прохода по одному и тому же месту работы, что соответствует 40 – 50 циклам силового нагружения вальцом катка, минимально требуемое качество уплотнения асфальтобетона (0,98 – 0,99) будет всегда обеспечено. Если нарушался указанный интервал температур или количество катков и их проходов было меньше требуемого, качественное уплотнение, как правило, не достигалось. Все просто и ясно.

Для этой статической технологии был установлен справедливый по тем временам запрет, который, к сожалению, действует и сегодня при использовании уже других техноло-

гий, — укладку и укатку горячего асфальтобетона нельзя выполнять при температуре воздуха ниже +10 °С (осень) и +5 °С (весна).

С появлением виброкатков технологическая ситуация с устройством асфальтобетонных покрытий существенно преобразилась в лучшую сторону. Вместо трех статических катков можно было использовать один или, в крайнем случае, два вибрационных, производительность укатки повысилась до 1,5 – 2 раз, качество уплотнения покрытий заметно подросло. Все это вместе взятое позволило расширить диапазон температур наружного воздуха для укладки и укатки горячего асфальтобетона, до 0 °С без снижения качества покрытий. Более того, известен неоднократный практический опыт в России и Германии устройства асфальтобетонных покрытий при –5 °С, есть даже единичные положительные случаи укладки на мостах Северо-Запада России нижних слоев покрытия при –13 °С и –18 °С без дефектов и последующих разрушений асфальтобетона.

И, тем не менее, многолетний и довольно широкий опыт использования в дорожной отрасли разнообразных типов и моделей виброкатков по всему миру позволил в последнее время выявить целый ряд существенных их недостатков и упущений, и, прежде всего, технологического плана. Главными из них можно считать два:

- функционально-технологические параметры и возможности виброкатков плохо или еще слабо увязаны теоретически и практически с состоянием и свойствами уплотняемого материала (асфальтобетона), и, в первую очередь, с показателями прочности и деформативности;
- арсенал способов и диапазоны регулирования уплотняющих усилий или воздействий виброкатков пока достаточно ограничены и не соответствуют многообразным потребностям дорожной практики, особенно при изменении типа асфальтобетонной смеси, сорта

Таблица 1

Коэф. уплотнения	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0	1,01
Прочность, %	55 – 60	75	88	100	110	122
Долговечность, %	40 – 45	70	85	100	112	125

или марки вяжущего, толщины уплотняемого слоя, степени уплотнения и температуры последнего.

Первый из указанных недостатков можно проиллюстрировать двумя характерными эпизодами из мировой дорожной практики. Один из них случился в 70-е годы прошлого столетия, когда в условиях все возрастающей интенсивности и грузоподъемности автомобильного транспорта большинство дорожников стало повсеместно переходить на укладку в покрытие более прочных и жестких многощелебнистых асфальтобетонов. На их укатке стали использовать имевшиеся средства и технологии, которые с успехом справлялись с качественным уплотнением прежних (менее жестких и прочных) смесей. Однако результаты работы этих средств и приемов на новых смесях нередко были неудачными.

И тогда во многих странах и фирмах был начат широкий экспериментальный поиск



Рис.1. Вибрационный пневмоколесный каток GW750 японской фирмы Sakai (вес 9,3 т, ширина укатки 1,96 м, частота колебаний 40 Гц, амплитуды 0,10; 0,31; 0,53 и 0,74 мм, ожидаемый эффект уплотнения может быть выше эффекта от статического пневмокатка весом 25 т)

наиболее полезных катков, их параметров и технологических приемов эффективного уплотнения многощелевистых смесей. Большинство дорожных журналов и других специализированных изданий запестрели массовыми публикациями с изложением успехов и неудач в этом поиске. Дорожники-практики и создатели уплотняющей техники стремились поделиться своим опытом в решении возникшей проблемы. И она, в конце концов, общими усилиями была положительно разрешена.

Другая примерно аналогичная ситуация возникла чуть позже (ближе к концу 20 столетия) и связана была с появившейся во многих странах (США, Франции, Германии, Швеции и России тоже) потребностью эффективно и качественно уплотнять катками слои покрытий из асфальтобетонных смесей на битумах с добавками полимеров (ПБВ).

Специфика этого вяжущего состоит в том, что оно улучшает показатели прочности и жесткости (деформативности) асфальтобетонов при высоких положительных температурах, включая, очевидно, и интервалы их уплотнения, обеспечивает повышенную прочность как раз на сжатие, растяжение и сдвиг (по некоторым оценкам до 1,5–2 раз). А при пониженных отрицательных температурах рост прочности и жесткости асфальтобетонов на ПБВ менее существенен по сравнению с асфальтобетонами на обычных нефтяных битумах БНД. Отсюда и эффект — повышение трещиностойкости покрытий и заметное сокращение на них связанного с этим количества дефектов и разрушений.

И в этой второй ситуации встал тот же актуальный вопрос: чем и как, да еще с хорошим качеством, вести уплотнение асфальтобетонных смесей на ПБВ или других подобных вяжущих. Не всякие катки могут оказаться пригодными для таких целей. Во всяком случае, пневмоколесные уже забракованы американскими дорожниками на все 100%, а ряд зару-

бежных фирм (I-R, Cat, Bomag, Дупарас и др.) стал сегодня предлагать дорожникам более крупные и тяжелые модели «свежих» виброкатков, очевидно, предназначенных как раз для таких смесей. Хотя ни дорожники, ни создатели уплотняющей техники в обоих упомянутых эпизодах не демонстрировали ясного и грамотного понимания того, что нужно делать в изменившихся практических обстоятельствах, как и в какую сторону изменять катки, их параметры и технологию выполнения операции.

Все эти и другие проблемные вопросы, начиная еще со статических катков, решаются в основном методом проб и ошибок, т.е. приблизительно и для узких условий применения найденного решения. И, что самое негативное, без использования теоретических разработок, аналитических зависимостей и критериев, установленных на основе фундаментальных положений классической механики, сопротивления материалов, механики грунтов, теории упругости, колебаний и других наук.

Поэтому иногда приходится прибегать все к тому же методу проб и ошибок для практической проверки, например, рекомендаций некоторых даже известных специалистов по асфальтобетону: повысить у катков для уплотнения асфальтобетона на ПБВ контактные давления и даже их общий вес в 1,5–2 раза, раз уж прочностные показатели самого асфальтобетона возросли в 1,5–2 раза. Такого сорта рекомендации относительно веса катков являются не только неверными, но и по существу вредными. Они, кстати, лишний раз подтверждают необходимость четкой увязки силовых воздействий уплотняющего средства с прочностными и деформативными свойствами уплотняемого материала.

Довольно длительное и детальное изучение проблем уплотнения дорожных материалов одним из соавторов сначала в Ленинградском (Санкт-Петербургском) филиале СоюздорНИИ, а затем в ак-

тивно практикующих фирмах «Дорстройпроект» и «ВАД», в конечном итоге привело к излагаемым ниже результатам и решениям отдельных вопросов и задач эффективного и регулируемого уплотнения асфальтобетонных смесей на дороге.

Эти решения и результаты получены на основе четырех принятых допущений:

1. Асфальтобетонная смесь при уплотнении проявляет себя как линейно-деформируемая среда, но с учетом некоторых особенностей ее реологических свойств при переходе со статических к динамическим (вибрационным) нагружениям.

2. Определяющим источником деформирования (уплотнения) дорожно-строительного материала, в том числе горячей асфальтобетонной смеси, является статическая или динамическая сила воздействия рабочего органа уплотняющего средства. Ни отдельно взятая амплитуда или частота колебаний вальца виброкатка, ни его центробежная сила, а только общая сила этого вальца и зависящие от нее контактные давления определяют величину и характер развития деформации укатываемой поверхности, а соответственно и качество ее уплотнения.

3. Контактные давления рабочего органа уплотняющего средства и прочностные и деформативные показатели свойств асфальтобетонной смеси должны всегда находиться в полном соответствии или согласии друг с другом.

4. Любой виброкаток, обладающий общим весом  $Q$ , центробежной силой  $P_0$ , размерами вальцов  $B \times D$  (ширина, диаметр) и своим силовым воздействием или уплотняющей способностью, может быть заменен равноценным по уплотняющей способности статическим катком эквивалентного веса  $Q_3$  с учетом размеров его вальцов  $B_3 \times D_3$  и степени проявления асфальтобетонной смесью реологических свойств; возможна также его замена другим виброкатком большего или меньшего веса и размеров, но с такой же

уплотняющей способностью его вальцов.

В соответствии с этими допущениями и теоретическими решениями были установлены величины общих сил  $F_0$  воздействия жесткого вальца на поверхность уплотняемой асфальтобетонной смеси [3]:

а) для статических катков (что просто и очевидно)

$$F_0 = Q_a \quad (1)$$

б) для вибрационных катков

$$F_0 = Q_a + a_0 \tau_{cp} P_0 \quad (2)$$

где  $Q_a$  — нагрузка вальца от силы веса катка;

$P_0$  — амплитуда (максимальное значение) центробежной силы вибрирующего вальца;

$\tau_{cp} = 0,375$  — среднее значение относительного времени перехода от импульса силы к самой силе вибровоздействия (изменяется в пределах 0,25–0,50; более детально об этом изложено в сборнике-каталоге «Дорожная техника и технология», 2005);

$a_0 = A_0/A_\infty$  — относительное значение реальной амплитуды колебаний вальца  $A_0$  в долях номинального (паспортно-

го) ее значения  $A_\infty$ ; при укатке асфальтобетона в начальной фазе его вибрирования принято  $a_0 = 1,05–1,10$ , в середине —  $a_0 = 1,45–1,50$  и в конце укатки —  $a_0 = 1,75–1,85$ .

Реальная амплитуда колебаний вальца катка за счет упругой отдачи поверхности динамически нагружаемой асфальтобетонной смеси (при укатке статическим катком такой отдачи нет) непрерывно возрастает по мере повышения плотности и снижения температуры смеси. Причем, такой рост может достигать 2–2,5 раз, а в отдельных случаях и больше.

За счет упругой отдачи валец приобретает дополнительную энергию движения, вследствие чего сила его ударного воздействия повышается и растут контактные давления. По расчетным оценкам с учетом принятых значений  $a_0 \tau_{cp} \approx 0,40$  (начальная фаза), 0,55 (середина) и 0,65–0,70 (конец виброукатки) рост силы  $F_0$  может составить от 3% (начальная фаза виброукатки еще рыхлой и горячей смеси) до 33–34% (конец виброукатки уже плотной и заметной остывшей смеси), а контактных давлений — соответственно от 2 до 22%.

При общем росте прочности асфальтобетона за весь цикл уплотнения, как уже упоминалось, до 3–4 раз повышение контактных давлений вальца за счет упругой отдачи всего до 22% не «сделает погоды», но его, тем не менее, учитывать следует. И особенно нужно учитывать прирост силы  $F_0$  для снижения виброисилы  $P_0$ , что понизит динамические перегрузки катка и повысит его надежность.

Максимальные значения контактных давлений вальца статического или вибрационного катка можно определить по зависимости

$$\sigma_0 = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{F_0^2 E_0}{B^2 D h_0}} = \frac{3}{2} P_k \sqrt{\frac{E_0 \Delta_h}{h_0 \Delta_E}} \quad (3)$$

$$P_k = \sqrt{\frac{F_0^2 \Delta_E}{B^2 D \Delta_h}} \quad (4)$$

где  $F_0$  — общая сила воздействия вальца на поверхность уплотняемого материала, кгс;

$E_0$  — модуль деформации материала (асфальтобетонной смеси, но не ее слоя), кгс/см<sup>2</sup>;

$B, D$  — ширина и диаметр вальца, см;

$h_0$  — толщина слоя асфальтобетонной смеси, см;

$\Delta_h = 1$  см;  $\Delta_E = 1$  кгс/см<sup>2</sup> — единичные значения толщины слоя и модуля деформации, использованы для того, чтобы  $P_k$  имел размерность кгс/см<sup>2</sup>;

$P_k$  — индекс контактных давлений вальца катка, кгс/см<sup>2</sup>; принят в качестве критерия или показателя уплотняющей способности катка, может быть статическим  $P_{ks}$  или динамическим  $P_{kd}$  у катка, работающего в вибрационном режиме; значения  $P_{ks}$  и  $P_{kd}$  легко определяются по паспортным данным любого катка с учетом (2) и (4), а также принятых значений  $a_0 \tau_{cp}$  для различных фаз виброуплотнения асфальтобетонных смесей.

Как следует из (4), индекс  $P_k$  зависит только от параметров катка, а вот на  $\sigma_0$  по (3) влияние уже оказывает не только каток, но и сам уплотняемый асфальтобетон через его модуль деформации  $E_0$  и толщину слоя  $h_0$ , совместно характеризующих его жесткость.

Необходимо, однако, заметить, что влияние толщины слоя  $h_0$  на  $\sigma_0$  при ее изменении на 1–2 см не столь существенно. Если же изменить  $h_0$  в 1,5–2 раза, это влияние будет уже ощутимым (на 15–25%). Очевидно, этим и объясняется не очень заметная на практике разница в качественном результате уплотнения, например, слоев 5 и 6 или 8 и 9 см. Но такое различие сразу же обнаружится при уплотнении каким-то катком одной и той же смеси, но слоями, к примеру, 5 и 8 или 3 и 6 см. Примерно такую же степень влияния на  $\sigma_0$  оказывает и модуль деформации  $E_0$  смеси.

Поэтому для каждого типа, состояния асфальтобетонной смеси и толщины ее слоя должны существовать вполне конкретные образцы катков со своими значениями показателя  $P_k$  и  $\sigma_0$ , принципиально зависящими от прочностных и деформативных свойств уплотняемого материала.

Специальные экспериментальные изучения прочностных и деформативных свойств уплотняемых в горячем ви-

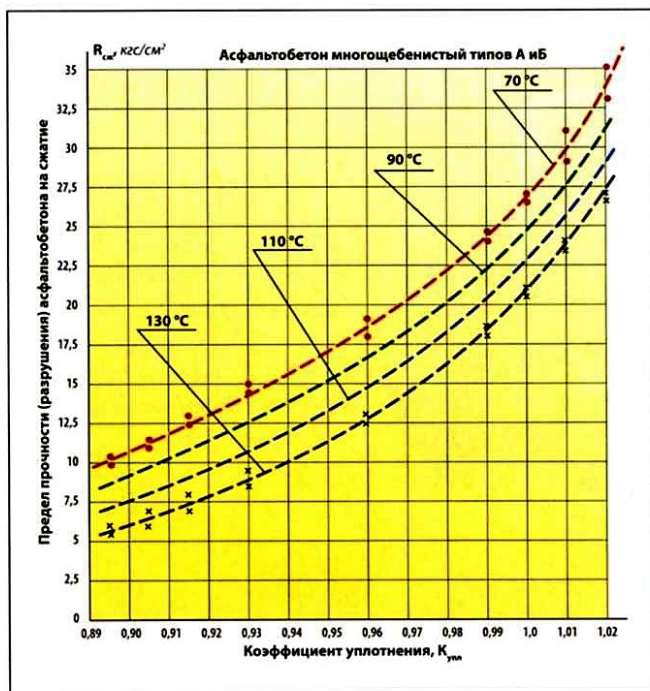


Рис. 2. Зависимость прочности асфальтобетонной смеси при сжатии от ее плотности и температуры.

де асфальтобетонных смесей разного состава и состояния (по плотности и температуре) проводились в ряде исследовательских и учебных центров бывшего СССР, в том числе и в России. При этом использовались разнообразные приборы и методики, но наиболее близкими к реальным условиям деформирования асфальтобетонного материала в дорожном покрытии, достоверными и продуктивными оказались 3-осные испытания в стабилометре и метод вдавливания жесткого штампа в асфальтобетонное полупространство.

В этих испытаниях обнаружился так называемый критический порог давления сжатия на асфальтобетонную смесь, при превышении которого (вплоть до момента разрушения смеси), параллельно с деформацией уплотнения начинают развиваться необратимые пластические деформации формоизменения в виде сдвигов, наплывов, трещин и разрывов, появление которых на поверхности укатываемого на дороге покрытия должно быть исключено. Хотя они иногда возникают вследствие неверно выбранного катка, создающего чрезмерно высокие контактные давления.

Поэтому вместо ранее предложенного рядом специалистов условия эффективного уплотнения катками грунта, щебня, асфальтобетона и других дорожно-строительных материалов

$$\sigma_0 = (0,9 \div 1,0) R_{сж} \quad (5)$$

специально для асфальтобетона было принято новое условие

$$\sigma_0 \leq R_{кр} \quad (6)$$

Причем по результатам экспериментов для мягких и менее прочных мелкощебенистых и песчаных смесей

$$R_{кр} = (0,65 \div 0,70) R_{сж} \quad (7)$$

а для более прочных и жестких мелкощебенистых смесей

$$R_{кр} = (0,70 \div 0,75) R_{сж} \quad (8)$$

где  $R_{сж}$  — предел прочности асфальтобетонной смеси при сжатии в стабилометре.

На графике рис. 2 приведены значения предела прочности при сжатии мелкощебенистых плотных асфальтобетонных смесей типов А и Б на битуме БНД90/130 или близких к нему по пенетрации в зависимости от их состояния по плотности и температуре. Эти данные являются итогом осреднения результатов, полученных рядом исследователей России (профессора Хархута Н. Я., Шестопалов А. А., Пермяков В. Б. и др.) при испытаниях асфальтобетонных образцов в стабилометре и при вдавливании жесткого штампа в асфальтобетонное полупространство.

Решать вопрос о реальных значениях модулей деформации уплотняемых в горячем виде асфальтобетонов оказалось существенно сложнее и труднее вследствие того, что имеющиеся не очень многочисленные, да и к тому же разрозненные сведения об этом не представляют собой логической системы необходимых данных. Они относятся не только к различным типам асфальтобетона с варьируемыми марками битума или к их состояниям по плотности ( $K_y$ ) и температуре ( $T$  °С), но и к разным методам испытаний асфальтобетона — сжатие свободной стоящего образца, компрессионное его сжатие в жесткой форме (стакане), 3-осное сжатие в стабилометре, вдавливание штампа в асфальтобетонное полупространство или слой. Часть из них не соответствует реальной схеме 2-осного деформирования (жесткий валец катка) или 3-осного уплотнения (шина пневмокатка, подошва виброролиты или башмак вибротрамбовки). Да и получены результаты таких испытаний при различных скоростях деформирования известной своей реологией асфальтобетона (0,5; 3,0; 18; 50 и 100 мм/мин), далеких от действительных скоростей под статическими (около 1000–2000 мм/мин) и вибрационными (до 3000–6000 мм/мин) катками.

Вдобавок ко всему этому следует отметить, что некоторые данные по прочности и мо-

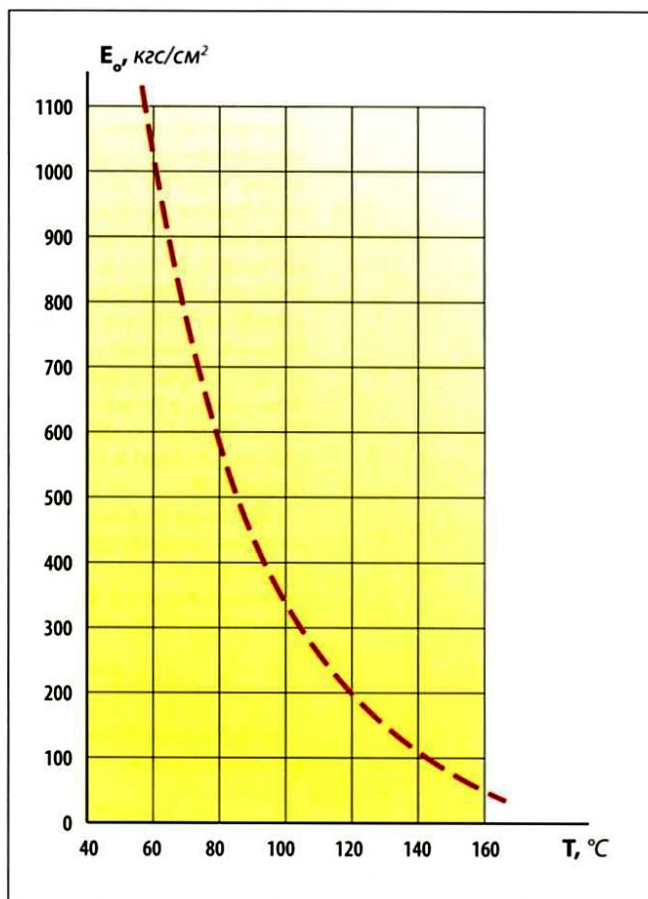


Рис. 3. Изменение модуля деформации слоя асфальтобетонной смеси толщиной 4-8 см с понижением температуры (по данным проф. Хархуты Н. Я.).

дулю деформации установлены для конкретных толщин уплотняемого слоя (рис. 3), т.е. исследователи определяли характеристики не материала как такового, как это принято в классическом сопротивлении материалов или теории упругости для стали, чугуна, алюминия или бетона, а для какой-то случайной конструкции (слоя) из асфальтобетона. И чтобы все-таки делать какие-то обобщающие выводы, полученные результаты иногда представляли в относительных единицах (табл. 2).

Между величинами прочности, в частности, на растя-

Таблица 2. Пределы прочности при сжатии и модули деформации (в относит. ед.) песчаной асфальтобетонной смеси в зависимости от ее температуры (по опытам проф. Хархуты Н. Я.)

Температура, °С	160	140	120	100	80
Предел прочности	1,0	1,5	1,7	2,8	4,0
Модуль деформации	1,0	2,4	3,6	8,0	15,0

жение при изгибе  $R_{\text{плз}}$  и модуля упругости  $E$  асфальтобетона, профессором Золотаревым В. А. в украинском ХАДИ получена обобщенная линейная зависимость, отраженная на рис. 4 [4]. При экспериментах в лаборатории испытывались асфальтобетоны I марки типов А, Б, В и Г на битумах БНД40/60, БНД60/90, БНД90/130 и БНД130/200 при положительных температурах воздуха. Подобные данные получены также в Ленинградском (Санкт-Петербургском) филиале СоюздорНИИ и Киевском ГосдорНИИ.

Обработка этих результатов методом наименьших квадратов дала прямую с коэффициентом корреляции 0,94. Она соответствует уравнению

$$R_{\text{плз}} = 0,689 E^{0,42}, \quad (9)$$

которое можно преобразовать в иной вид

$$E = 1,45 R_{\text{плз}}^{2,38} \quad (10)$$

Полезным и продуктивным для ориентировочных анализов влияния друг на друга показателей  $R_{\text{плз}}$  и  $E$  у двух различных типов асфальтобетона одинакового состояния по плотности ( $K_v$ ) и температуре ( $T^\circ\text{C}$ ) или, наоборот, у од-

ного и того же асфальтобетона, но при двух разных состояниях может оказаться способ относительных сравнений по зависимости вытекающей из (10),

$$\frac{E_2}{E_1} = \left( \frac{R_{\text{плз}2}}{R_{\text{плз}1}} \right)^{2,38} \quad (11)$$

Компактно расположенные вокруг прямой на рис. 4 экспериментальные точки дают некоторое основание продлить прямую пунктиром с определенной надеждой на справедливость предположения, что зависимости (9), (10) и (11) могут оказаться пригодными и для более высокого диапазона температур асфальтобетонов, включая  $+50 \dots +70^\circ\text{C}$ , а может быть и выше, вплоть до тех их значений, при которых ведется уплотнение асфальтобетонных смесей на дороге. По первым анализам и оценкам не обнаружено серьезных «противопоказаний», чтобы сразу отвергнуть эту гипотезу, которая потребует еще своей экспериментальной проверки и, может быть, корректировки.

Чтобы полноценно воспользоваться «плодами» этой гипотезы для решения технологических проблем и задач по уплотнению асфаль-

тобетона, в выражение (11) следует внести три поправки. Во-первых, как это давно и не без оснований принято, например, в механике грунтов для линейно-деформируемых материалов, накапливающих при нагружении остаточные деформации, заменить модуль упругости  $E$  на модуль общей деформации  $E_0$ .

Во-вторых, вместо показателя  $R_{\text{плз}}$  использовать  $R$ , понимая под ним не только предел прочности на растяжение при изгибе, но и предел прочности асфальтобетона при сжатии  $R_{\text{сж}}$  или его критическую часть  $R_{\text{кр}}$ . Тем более, что между этими пределами прочности наблюдается достаточно хорошая и устойчивая корреляция (прочность на растяжение при изгибе, как правило, в 3–4 раза ниже прочности асфальтобетона при сжатии). А для предполагаемых оценок и сравнений в относительных единицах это немаловажно и, очевидно, вполне допустимо.

И наконец, в-третьих, показатель степени 2,38 в (10) и (11) должен быть понижен потому, что по мере роста плотности и прочности уплотняемого материала его модуль упругости  $E$  увеличивается быстрее, чем модуль деформации  $E_0$ . В этом можно убедиться, проанализировав известную зависимость для линейно-деформируемых материалов между модулями общей деформации  $E_0$ , упругости  $E$  и пластической (остаточной) деформации  $E_{\text{пл}}$

$$E_0 = \frac{E \cdot E_{\text{пл}}}{E + E_{\text{пл}}} \quad (12)$$

По мере роста, за счет уплотнения, доли упругой части деформации  $E$  в общей ее величине  $E_0$  оба модуля (упругости и общей деформации) увеличиваются, но, судя по конкретным отношениям  $E/E_0 = 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; \text{ и } 0,9$  и соответствующим им отношениям модулей  $E/E_0 = 1,1; 1,43; 2,0; 3,3 \text{ и } 10,0$ , рост  $E_0$  оказывается более медленным, чем  $E$ .

Многие специалисты по изучению проблем и вопросов уплотнения дорож-

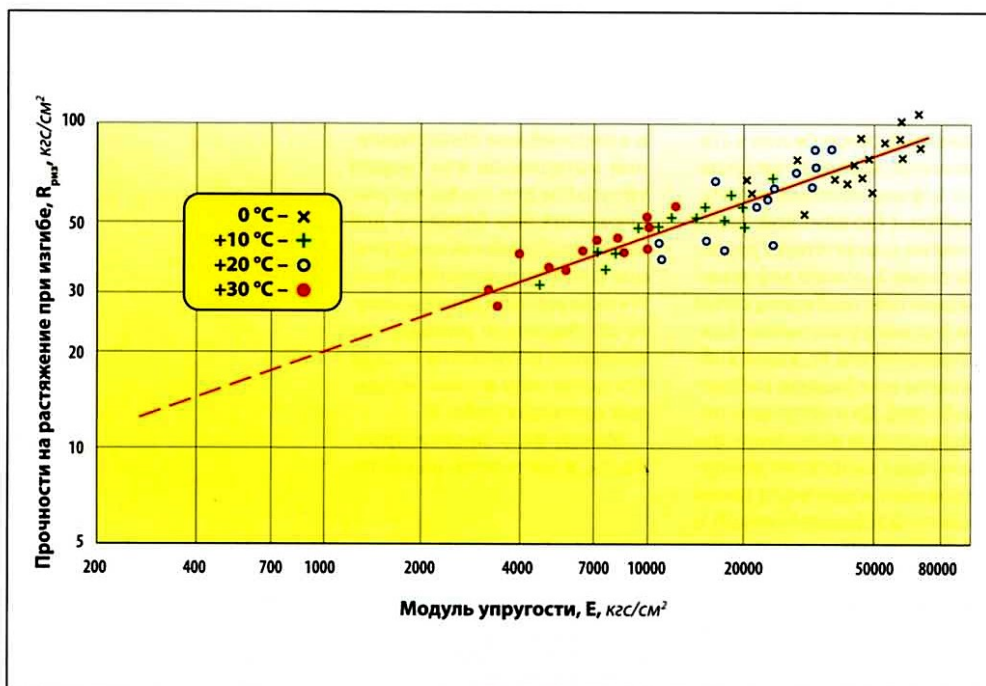


Рис. 4. Корреляционная связь между пределами прочности на растяжение при изгибе и модулями упругости различных типов асфальтобетонов на разных марках битумов и при различных положительных температурах (данные проф. Золотарева В. А.)

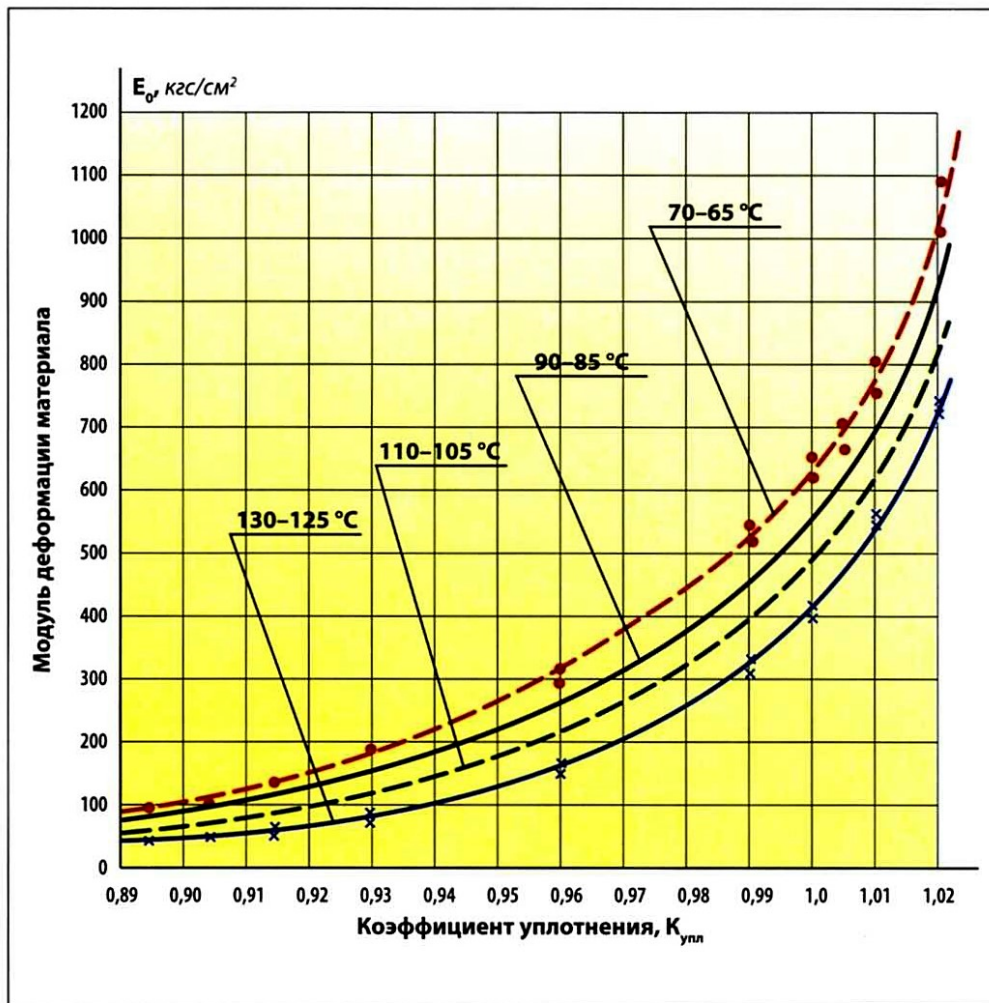


Рис. 5. Влияние плотности и температуры многощебенистой асфальтобетонной смеси на ее модуль деформации.

но-строительных материалов уже давно обратили внимание на вполне определенные соотношения между ростом прочности в относительных единицах того же, например, асфальтобетона и относительным ростом его модуля деформации. Во многих известных случаях такое соотношение оказывалось близким к квадратичному (см. табл. 2).

Специальные дополнительные анализы и проверки по различным опытным данным, в том числе приведенным в табл. 2, дали для (11) значения степени при  $R_2/R_1$  в довольно узком диапазоне изменения (от 1,86 до 2,04 – 2,07), т.е. степень 2,38 для модулей упругости в (10) и (11) можно заменить на осредненное 2,0 для модулей деформации. Поэтому выражение (11) с учетом трех

предложенных поправок примет следующий окончательный вид

$$\frac{E_{02}}{E_{01}} \cong \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^2, \quad (13)$$

в соответствии с которым и с учетом ряда экспериментальных данных по  $E_0$  и  $R_{сж}$  построен график зависимости расчетных значений модуля деформации  $E_0$  многощебенистых плотных смесей типов А и Б на битумах БНД90/130, БДУ70/100 и БДУС70/100 от их состояния по плотности и температуре (рис. 5).

Из условия (6) и зависимости (3) получена другая аналитическая зависимость предельных (чтобы на покрытие не возникало дефектов, но и не страдало его уплотнение) индексов контактных давлений любого статического или вибрационного катка от толщины уплотня-

емого слоя при различных состояниях асфальтобетонной смеси по плотности и температуре (через  $R_{кр}$ ,  $E_0$ )

$$p_k \leq \frac{2}{3} R_{кр} \sqrt[3]{\frac{h_0}{E_0}} \quad (14)$$

На основании данных рис. 2 и 5 по (14) были вычислены значения  $p_{кз}$  для начальной и конечной фаз уплотнения указанных многощебенистых плотных смесей типов А и Б (рис. 6). Таким, но более подробным графиком («Дорожная техника и технология» за 2005 г.) фирма ВАД с успехом пользуется в течение четырех-пяти лет для подбора требуемых статических и вибрационных катков и для управления качеством укатки указанного асфальтобетона.

А что делать при изменении гранулометрического типа асфальтобетонной смеси или марки битумного вяжущего? Какие катки в этом случае дорожник может использовать, а какие нерационально или вообще нельзя? Какими уплотняющими параметрами должен обладать оптимальный вариант катка при смене не только типа смеси или марки вяжущего, но и толщины слоя, начальной плотности или температуры одной и той же укатываемой смеси?

Раньше ответы на подобные вопросы практикующий дорожник или специалист, создающий новую уплотняющую технику, искал из аналогий с предыдущим практическим опытом. Ну а если такого опыта еще нет, как, например, по уплотнению новых асфальтобетонных материалов типа ЩМА или на полимербитумных (ПБВ) и резинобитумных (РБВ) вяжущих? Остается прежний не очень эффективный и довольно затратный метод проб и ошибок.

Излагаемая методология призвана дать ответы на многие из обозначенных вопросов и оказать практическую помощь как дорожникам для более качественного уплотнения и устройства асфальтобетонных покрытий, так и разработчикам новых катков.

Если состояние или тип асфальтобетонного материала изменится и показатели  $R_{сж}$ ,  $R_{сп}$ ,  $R_{плз}$  и  $E_0$  станут соответственно иными, отношения показателей силового уплотняющего воздействия для измененного типа смеси или ее состояния с обозначением 2 и известного прежнего с обозначением 1 должны соблюдаться по зависимостям

$$\frac{p_{k2}}{p_{k1}} \leq \frac{R_{сп.2}}{R_{сп.1}} \sqrt[3]{\frac{E_{01}h_{02}}{E_{02}h_{01}}}, \quad (15)$$

а при  $h_{01}=h_{02}$

$$\frac{p_{k2}}{p_{k1}} \leq \frac{R_{сп.2}}{R_{сп.1}} \sqrt[3]{\frac{E_{01}}{E_{02}}} \quad (16)$$

$$\frac{F_{02}}{F_{01}} = \frac{Q_2}{Q_1} \leq \sqrt[3]{\frac{p_{k2}^3}{p_{k1}^3}} \quad (17)$$

Если же предложенная гипотеза и выражение (13) окажутся справедливыми или близкими для реальных температурных диапазонов уплотнения асфальтобетонных смесей на дороге, тогда

$$\frac{p_{k2}}{p_{k1}} \leq \sqrt[3]{\frac{R_{сп.2}}{R_{сп.1}}} \quad (18)$$

$$\frac{F_{02}}{F_{01}} = \frac{Q_2}{Q_1} \leq \sqrt[3]{\frac{R_{сп.2}}{R_{сп.1}}} \quad (19)$$

Работать все эти идеи и зависимости (15 – 19) будут только, если более или менее достоверно будут известны  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $E_{01}$  и  $E_{02}$  или просто их отношения  $R_2/R_1$  и  $E_{02}/E_{01}$ . Желательно, чтобы значения  $R_1$  и  $R_2$  в лице  $R_{сж}$  и  $R_{плз}$ , а также  $E_{01}$  и  $E_{02}$  наиболее близко соответствовали температурному диапазону уплотнения асфальтобетона (+100...+70 °C). Но при отсутствии таких данных можно для ориентировочных предварительных оценок воспользоваться значениями  $R_{50}$  и  $R_{60}$ .

Если же нет конкретных экспериментальных сведений по изменению  $E_{01}$  и  $E_{02}$ , на первых порах можно прибегнуть к зависимости (13) или табл. 3 и затем найти три самых необходимых показателя катка  $p_{k2}$ ,  $Q_2$  и  $F_{02}$  для нового типа смеси или ее состояния (оптимальные значения  $p_{k1}$ ,  $Q_1$  и  $F_{01}$  для многощебенистых

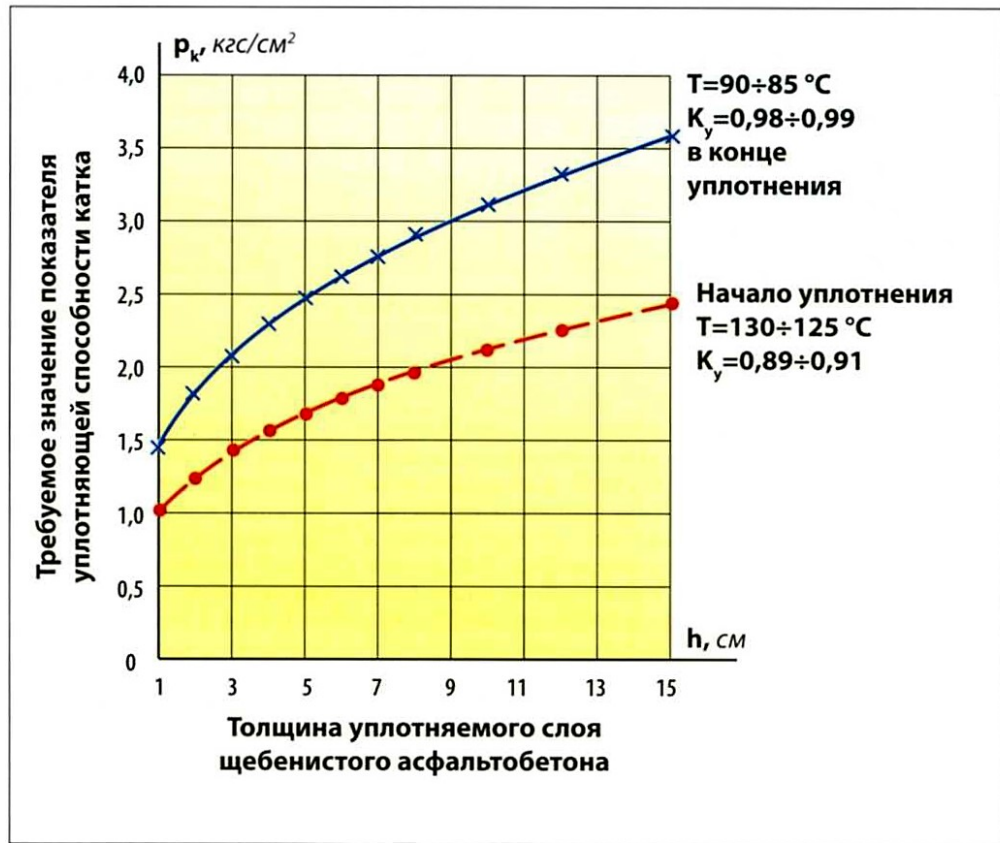


Рис. 6. Оптимальные значения индекса статических контактных давлений катка для эффективного уплотнения щебеннистого асфальтобетона слоями различной толщины.

плотных смесей типа А и Б известны).

Кстати, в некоторых практических примерах, излагаемых ниже, получаемые результаты даны в сравнении с безымянным (фирма, страна) тандемным виброкатком весом 9 т с вальцами 1680×1200 мм (ширина, диаметр), центробежной силой вибровальца 7,5 тс и индексом контактных давлений  $p_{ks}=1,83$  кгс/см<sup>2</sup>. По опыту фирмы «ВАД», он достаточно качественно и эффективно

уплотняет на дороге многощебеннистую плотную смесь слоем 6 см.

В другой табл. 4 показано влияние марки битума многощебеннистой плотной смеси на параметры ее уплотнения виброкатком (экспериментальные данные по  $R_{50}$  из [5]). Из нее следует, что прочностные и деформативные свойства асфальтобетонной смеси, обусловленные той или иной маркой битума, заметным образом (на 26–28 %) изменяют ста-

Таблица 3. Влияние изменения прочности ( $R$ ) и деформативности ( $E_0$ ) асфальтобетона на изменение веса ( $Q$ ), общей силы уплотнения ( $F_0$ ) и индекса контактных давлений ( $p_k$ ) катка

$R_1/R_2$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$E_{02}/E_{01} \cdot \eta$	1,0	1,21	1,44	1,69	1,96	2,25	2,56	2,89	4,0	6,25	9,0	12,25	16,0
$\frac{p_{k2}}{p_{k1}} \leq \sqrt[3]{\frac{R_2}{R_1}} \cdot \eta$	1,0	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,17	1,19	1,26	1,36	1,44	1,52	1,59
$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{F_{02}}{F_{01}} = \sqrt[3]{\frac{R_2}{R_1}}$	1,0	1,05	1,09	1,14	1,185	1,23	1,265	1,30	1,41	1,59	1,73	1,87	2,0

\*) При условии  $E_{02}/E_{01}=(R_2/R_1)^2$



Таблица 4. Влияние марки битума многощелевистой асфальтобетонной смеси на параметры ее уплотнения виброкатком

Показатель Битум	$R_{с0}$ (БНД)	$E_0$ (БНД)	$P_k$ (БНД)	$Q$ (БНД)	Слой 6 см плотной смеси типа А, Б		
	$R_{с0}$ (БНД90/130)	$E_0$ (БНД90/130)	$P_k$ (БНД90/130)	$Q$ (БНД90/130)	$Q, \tau$	$F_{ор}, \tauс^*$	$P_{ор}, \tauс^*$
БНД40/60	1,58	2,50	1,17	1,26	11,3 (9,0)	11,9	9,5 (11,4)
БНД60/90	1,33	1,77	1,10	1,15	10,4 (9,0)	10,8	8,6 (9,7)
БНД90/130	1,0	1,0	1,0	1,0	9,0	9,4	7,5
БНД130/200	0,75	0,56	0,91	0,87	7,8	8,2	6,6
БНД200/300	0,52	0,27	0,81	0,72	6,5	6,8	5,5

\*) Общая сила воздействия вальца 1680×1200 мм и его центробежная сила в конце укатки

тический вес катка  $Q$ , общую силу уплотняющего воздействия  $F_0$  и центробежную силу вибратора  $P_0$  по сравнению с катком для смеси на битуме БНД90/130. Если же взять крайние марки битумов (БНД40/60 и БНД200/300), то такое изменение достигает около 2 раз.

В правой части табл. 4 (выше строки для БНД90/130) даны два варианта общего веса  $Q$  и центробежной силы  $P_0$ , один из которых (без скобок) является оптимальным для реализации наилучшего качества уплотнения, а второй (в скобках) допускает применение более легкого катка,

который оптимален для смеси на БНД90/130, но с повышением центробежной силы  $P_0$ , чтобы компенсировать недостачу статической нагрузки от силы веса более легкого варианта.

В табл. 5 приведены расчетные по излагаемой методологии значения основных показателей уплотняющей способности виброкатка для слоя 6 см малоцементной смеси типа В на битуме тоже БНД90/130 (данные виброкатка для слоя 6 см смеси типа А на БНД90/130 см. в табл. 4).

Для этого были обработаны экспериментальные данные Омского СибАДИ (Пер-

мяков В. Б., Захаренко А. В.) по прочностным и деформативным свойствам асфальтобетонных смесей типов А и В на одном и том же битуме, полученные в стабилметре при коэффициенте уплотнения 0,95 и 1,0 и температурах 140, 120, 100, 80 и 60 °С.

Обращает на себя внимание довольно низкое экспериментальное значение отношения  $E_0(A)/E_0(B)$ , оказавшееся меньше отношения  $R_{кр}(A)/R_{кр}(B)$ , что физически трудно понимается. Объяснить это, очевидно, можно только попаданием в осреднение всех  $E_0$ , полученных при различных скоростях деформирования образцов (3; 18 и 100 мм/мин). Поэтому в табл. 5 параллельно даны расчеты с учетом  $E_0(A)/E_0(B)$  по (13), которые затем были усреднены с расчетами по данным Омского СибАДИ (истина, как всегда, ближе к середине). Виброкаток для смеси типа В на БНД90/130 по своим параметрам оказался близким к катку

Таблица 5. Параметры виброкатка для уплотнения асфальтобетона типа В.

Показатель	$\frac{R_{сп}(A)}{R_{сп}(B)}$	$\frac{E_0(A)}{E_0(B)}$	$\frac{P_k(A)}{P_k(B)}$	$\frac{Q(A)}{Q(B)} = \frac{F_0(A)}{F_0(B)}$	Слой асфальтобетона 6 см на БНД90/130			
	$\frac{R_{сп}(A)}{R_{сп}(B)}$	$\frac{E_0(A)}{E_0(B)}$	$\frac{P_k(A)}{P_k(B)}$	$\frac{Q(A)}{Q(B)} = \frac{F_0(A)}{F_0(B)}$	$P_{кр}, \text{кгс/см}^2$	$Q, \tau$	$F_{ор}, \tauс$	$P_{ор}, \tauс$
По данным опытов СибАДИ	1,21	1,16	1,15	1,23	1,59	7,3	7,6	6,0
По зависимости (13)	1,21	1,46	1,07	1,10	1,71	8,1	8,5	6,6
среднее	1,21	1,31	1,11	1,17	1,65	7,7	8,0	6,3

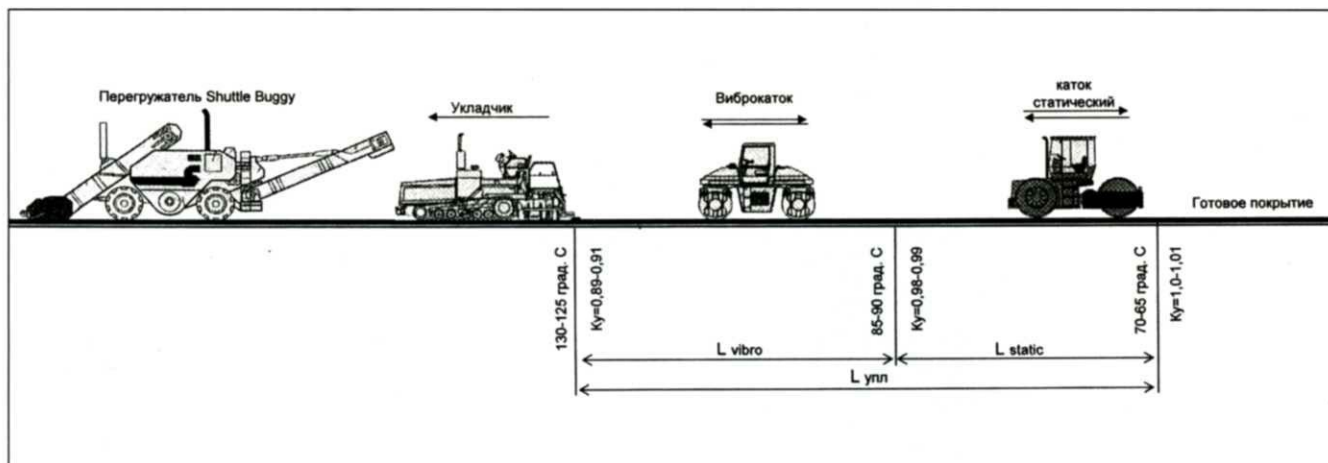


Рис. 7. Технологическая схема укладки и уплотнения асфальтобетонного покрытия на объекте ЗАО «ВАД».

для смеси типа А, но на битуме БНД130/200.

Зачастую на практике дорожники довольно снисходительно относятся, например, к весовой или силовой разнице катков в 1,0–1,5 т, полагая ее несущественной. Данные табл. 5, да и опыт фирмы «ВАД» и других подрядчиков, кому приходилось укатывать одним и тем же катком смеси типов А и В и получать разное качество их уплотнения, свидетельствуют о неправомерности такого пренебрежения.

Всякий отечественный или зарубежный дорожник хорошо знает и понимает необходимость соблюдения тех интервалов температур асфальтобетонной смеси, при которых она наиболее качественно перемешивается на АБЗ или укладывается и уплотняется в покрытии. Эти интервалы зависят от вязкости (марки по пенетрации) битума и обусловлены ее изменением с понижением температуры смеси, что ухудшает подвижность и удобообрабатываемость смеси, в том числе катками.

Поэтому для различных асфальтобетонных смесей по прочности и жесткости, зависящих не только от битума, но и от количества и крупности щебня в их составе, установлены рациональные температуры начала и завершения процесса укатки.

Европейскими дорожными специалистами по асфальтобетонным технологиям рекомендовано придерживаться следующих температур приготовления смеси  $T_{см}$  и начала ее уплотнения  $T_{упл}$  в зависимости от температуры размягчения битума  $T_p$  [6]:

$$\begin{aligned} T_{см} &= T_p + 110 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ T_{упл} &= T_p + 92 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (20)$$

Как правило, многощебенная асфальтобетонная смесь на битуме БНД90/130 или близком к нему по пенетрации отправляется с АБЗ фирмы «ВАД» на укладку при 150–145 °С. После выгрузки смеси в перегрузчик Shuttle Buggy, подачи в бункер укладчика и раскладки в по-

Таблица 6. Параметры статического катка CS141/142 фирмы Дупарас для завершающей фазы укатки горячей песчаной смеси при разных ее температурах

Показатель	$R (T \text{ } ^\circ\text{C})$	$E_0 (T \text{ } ^\circ\text{C})$	$P_{кз} (T \text{ } ^\circ\text{C})$	$Q (T \text{ } ^\circ\text{C})$	Слой 6 см, БНД90/130	
	$R (65 \text{ } ^\circ\text{C})$	$E_0 (65 \text{ } ^\circ\text{C})$	$P_{рк} (65 \text{ } ^\circ\text{C})$	$Q (65 \text{ } ^\circ\text{C})$	$p_{кз}, \text{ кгс/см}^2$	$Q, \text{ т}$
Завершение укатки при +65 °С	1,0	1,0	1,0	1,0	2,43	10,2
Завершение укатки при +75 °С	0,70	≈0,50	0,89	0,84	2,16	8,6
Завершение укатки при +50 °С	1,43	2,04	1,13	1,20	2,75	12,2

крытие ее температура не бывает ниже 125 °С (чаще всего 135–130 °С), что показано на технологической схеме фирмы «ВАД» (рис. 7).

На участке уплотнения смеси в пределах температур от 130–125 °С до примерно 65 °С (конец укатки) на ширине полосы не более 4,5–5,0 м работу ведет отряд из двух катков, грамотно подобранных по уплотняющей способности. Если ширина полосы составляет 6 м и более или если скорость укладчика возрастает до 5–6 м/мин, укатку должны выполнять уже два таких отряда. Экономить на укатке нецелесообразно.

Первым и главным в отряде является вибрационный каток. Он осуществляет большую часть работы по уплотнению смеси, повышая показатели ее плотности с 0,89–0,91 до 0,98–0,99. Второй, тяжелый статический, каток CS141/142 фирмы Дупарас, во-первых, исправляет все огрехи на покрытии после виброкатка, обусловленные отмеченными его недостатками, во-вторых, уплотняет смесь до 1,0–1,01, а иногда и до 1,02 (пористые асфальтобетоны), в-третьих, производит силовой тренинг уложенного асфальтобетона, формируя на 20–25 % более прочную его структуру.

Особое достоинство CS141/142 состоит в том, что пустой он весит 10,8 т, а со 100 % заполнением валцов водой — 13 т, при заливке 50 % воды — 11,9 т. Это позволяет достаточно просто и быстро регулировать его уплотняющее воздействие на завершающей фазе укатки слоев многощебенной смеси толщиной от 5

до 8–9 см. Границей раздела участков работы виброкатка и CS141/142 является температура смеси на покрытии 90–85 °С.

Иногда в производственных ситуациях, а они могут возникать не только у фирмы «ВАД», появляется потребность завершить процесс статической укатки не при +65 °С, а, к примеру, при +75 °С или даже при +50 °С, что в принципе не возбраняется.

Какие же уплотняющие нагрузки должен создавать статический каток в том и другом случае? Каков должен быть его общий вес, чтобы и уплотнение асфальтобетона не страдало, и не возникало на его поверхности дефектов и разрушений?

Воспользовавшись данными по прочности песчаного асфальтобетона при сжатии  $R_{50}$ ,  $R_{65}$  и  $R_{75}$ , приводимыми в литературе [7], были вы-



Статический трехвалцовый гаток CS141/142 фирмы Дупарас, полезный для завершающей фазы технологии укатывания асфальтобетона.

Таблица 7.

№ № п/п	Тип асфальтобетона	$\frac{E_1}{E_1}$	$\frac{E_{01}}{E_{01}}$	$\frac{R_1}{R_1}$	$\frac{p_{k1}}{p_{k1}}$	$\frac{Q_1}{Q_1} = \frac{F_{01}}{F_{01}}$	Параметры для слоя 6 см			
							$p_{k1}$ , кг/см <sup>2</sup>	$Q_1$ , т	$F_{01}$ , тс	$P_{01}$ , тс
1	Тип Б II марки — 40 % Щ гранит, 50 % П, 10 % МП, 5,2 % БНД60/90	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,01	10,4	10,8	8,6
2	Тип Б — 40 % Щ, 51 % П, 9 % МП, 6,2 % БНД60/90 с 8 % резиновой крошки, т.е. ПБВ	1,36	1,30	1,14	1,05	1,07	2,11	11,1	11,6	8,9
3	Тип Б — 40 % Щ, 50 % П, 10 % МП, 5 % БНД60/90 + 2 % полимера ДСТ, т.е. На ПБВ	1,70	1,56	1,25	1,08	1,13	2,18	11,8	12,2	9,3

полнены расчеты по излагаемой методике. Их результаты, представленные в табл. 6, убедительно показывают, как нерационально и обременительно вести укатку даже песчаного асфальтобетона при +50 °С, насколько бесполезно при такой температуре продолжать процесс уплотнения катком с весом 10,2 т, который предназначен для +65 °С, и как выгодно завершать укатку при +75 °С (снижение веса до 8,6 т).

Теперь об уплотнении асфальтобетонов на полимербитумных вяжущих (ПБВ) и щебнемастичных асфальтобетонов (ЩМА). Подход к этим двум типам материалов должен быть несколько разным. Асфальтобетонную смесь на ПБВ следует рассматривать с точки зрения уплотнения, как и любой другой дорожный материал с приобретенными новыми, в том числе повышенными прочностными и деформативными свойствами за счет каких-то мер или причин (изменение марки битума или гранулометрического состава, введение добавок-модификаторов, рост плотности, понижение температуры и т.п.).

И все это не ограничивает выбора либо статического, либо вибрационного способа ее уплотнения. Поэтому для конкретной смеси на ПБВ находить параметры статических или вибрационных катков следует по тем же изложенным принципам, правилам и зависимостям.

Уплотнение щебнемастичного асфальтобетона из-за наличия в нем большего количества битума возможно в основном статической укаткой. Применение вибрации в том

объеме и с теми параметрами катков, которые используются на обычных асфальтобетонах, не рекомендуется из-за сильной миграции битума на поверхность покрытия. Хотя в Германии на начальной фазе уплотнения ЩМА разрешается поработать легким виброкатком, но с дозированной вибрацией и ограниченным количеством проходов (до 2–4).

Поэтому для ЩМА фактически уготован возврат к прежней статической технологии уплотнения со сменой легкого катка на средний, а затем среднего на тяжелый. Другое дело, что силовые или весовые уплотняющие их параметры должны быть адекватны прочностным и деформативным свойствам ЩМА, а также толщинам слоев его укладки.

Первые отрывочные сведения о зафиксированных в лабораториях свойствах некоторых типов асфальтобетона на ПБВ появились достаточно давно. В частности, еще в 1992 г. к. т. н. Кирюхин Г. Н. опубликовал [8] сравнительные данные по прочности обычного песчаного асфальтобетона на битуме БНД60/90 при +50 °С ( $R_{50}=14,2$  кгс/см<sup>2</sup>) и на ПБВ (БНД60/90+3% полимера СБС,  $R_{50}=22$  кгс/см<sup>2</sup>). При отношении  $R_{50(ПБВ)}/R_{50(БНД)}=1,57$  для качественного уплотнения асфальтобетона на ПБВ слоем 6 см может оказаться виброкаток с вальцами 1680×1200 мм и следующими оптимальными параметрами (в скобках параметры катка для смеси без полимера):

- общий вес:  $Q_2=11,0$  т; ( $Q_1=8,8$  т);
- индекс статических контактных давлений:  $p_{k2}=2,10$  кгс/см<sup>2</sup>; ( $p_{k1}=1,81$  кгс/см<sup>2</sup>);

- общее силовое воздействие вальца на смесь  $F_{02}=11,5$  тс; ( $F_{01}=9,2$  тс);
- центробежная сила вибровозбудителя  $P_{02}=8,9\div 9,0$  тс; ( $P_{01}=7,1$  тс).

Более высокая прочность песчаного асфальтобетона на ПБВ, как видно из приведенных данных, потребовала более «солидных» уплотняющих параметров виброкатка.

По другим типам асфальтобетонов на ПБВ можно только констатировать некоторые общие сведения о повышении их прочности при положительных температурах на 50–60 % и модуля упругости в 2,5–3,0 раза, что, кстати, приемлемо коррелируется с зависимостью (11) проф. Золотарева В. А. Правда, есть отдельные сведения о росте прочности, в зависимости от типа и количества полимердобавки, в 1,7–1,8 раза. И что же должен делать дорожник для практической укладки и укатки таких достаточно прочных материалов?

МАДИ и лабораторно-исследовательский центр Мосавтодора совместно выполнили достаточно интересную и полезную работу по испытанию в установке европейской разработки асфальтобетонных образцов на усталость при температурах 0, +10 и +20 °С.

В этих экспериментах определялись модули упругости обычного асфальтобетона типа Б на битуме БНД60/90, на том же битуме с 8 % резиновой крошки и отдельно с 2 % полимера ДСТ [9].

На основании только отношений модулей упругости  $E$  этих асфальтобетонов (за 1,0 принят модуль для асфальтобетона на чистом битуме, т.е. без добавок) была сделана попытка спрогнозировать с какой-то долей вероятности параметры уплотняющих средств вибрационного типа для укатки на дороге слоя 6 см из этих материалов. При этом параметры виброкатка для смеси типа Б на чистом БНД60/90 известны (табл. 4).

Используя отношения  $E$ , сначала были определены от-

носительные пределы прочности на растяжение при изгибе  $R_{рнз}$ , которые регистрировались в этих опытах, но для настоящего анализа не были известны (не опубликованы), затем находились отношения модулей деформации и далее необходимые параметры виброркатков (табл. 7).

Конечно, наличие данных по прочностным и деформативным свойствам асфальтобетонных смесей на ПБВ при повышенных их температурах (хотя бы +70...+100 °С) позволит установить более точно реальные показатели уплотняющей способности необходимых катков. Последний пример приведен только с целью показать возможности предложенных подходов и путей решения технологических задач и одновременно обратить внимание дорожников на то, что на укатке более прочных асфальтобетонов должны применяться уплотняющие средства более тяжелые и крупные с повышенными силовыми воздействиями.

Попытки использовать в таких случаях катки, которые всегда были полезны и эффективны на обычных (менее прочных) асфальтобетонных смесях, не дадут требуемого качества уплотнения, например тех же смесей на ПБВ. Видимо, по этой причине целый ряд зарубежных фирм наладил выпуск новых крупных виброркатков, предназначенных, очевидно, специально для уплотнения асфальтобетонов на ПБВ, применение которых непрерывно возрастает во всем мире, и в первую очередь в США для устройства покрытий класса суперпейв.

В 2005 г. на традиционной выставке строительных и дорожных машин в американском Лас-Вегасе фирмы Ingersoll-Rand и Bomag Americas удивили многих своими новыми тяжелыми виброркатками, в том числе их возможностями более широко регулировать усилия уплотнения [2]. Удивление вызвало прежде всего то, что виброркатки, в частности, фирмы I-R DD112HF и DD118HFA (вес каждого 12,4 т), DD132HF и DD138HFA (13,8 т) и DD158HFA

(15,5 т) по своим статическим и динамическим воздействиям, согласно излагаемой методике, способны уплотнить качественно многощелебнистые асфальтобетонные смеси, например, на битуме БНД90/130 (без полимера) оптимальными слоями 7–8 см (статический режим укатки), 12–13 см (режим слабой вибрации) и 14–15 см (сильная вибрация).

Если же прочностные показатели многощелебнистого асфальтобетона на ПБВ (например, БНД60/90 + полимер) превысят в 1,5 раза прочность такого же типа асфальтобетона, но только на БНД60/90 без полимера, параметры этих новых катков позволят эффективно уплотнять асфальтобетон на ПБВ оптимальными слоями уже около 3,5–4,0 см (статика), 6–7 см (слабая вибрация) и примерно 8–9 см (сильная вибрация). При таких реальных слоях укладки и укатки удивлений по поводу новых катков I-R уже не возникает.

Дорожная отрасль России фактически только начала осваивать технологию устройства и уплотнения в покрытии ЩМА. Особенно в неразработанном или зачаточном пока состоянии пребывает технология его уплотнения.

Доказательством может служить срез структуры образца ЩМА из покрытия (рис. 8), показывающий отсутствие необходимых контактов между отдельными, особенно крупными щебенками, которые и должны создавать каркасность и жесткость асфальтобетона, а за счет этого и повышенную его сдвигоустойчивость.

Как показали специальные измерения [10], вследствие отсутствия полных контактов между щебенками и недостаточной каркасности структуры коэффициент внутреннего трения лабораторных образцов асфальтобетона оказался около 0,91 (ЩМА-10) и 0,92 (ЩМА-15), а по вырубкам ЩМА-15 из покрытия — только 0,86, хотя по нормам ГОСТ 31015–2002 он должен быть не ниже 0,94. При такой структуре и показателях внутреннего трения долго ждать на покрытии опреде-



Новый виброркаток DD138 HFA (13,8 т) фирмы Ingersoll-Rand (IR) позволяет более широко регулировать усилия уплотнения.

ленных усталостных и пластических сдвигов и колеяности не придется.

Такая ситуация объясняется в основном недоуплотнением ЩМА вследствие отсутствия у дорожников надлежащих статических катков, и прежде всего тяжелого типа. Видимо, российские подрядчики слишком быстро отказались от этого типа уплотняющих средств, отправив их в отставку. И, может быть, уже забыли, что такое статическая технология укатки асфальтобетона и как правильно ее выполнять. Кстати, поэтому же на большинстве современных путепроводов и мостов, где вибрационная укатка запрещена, асфальтобетонные покрытия имеют, как правило, скверное качество уплотнения, и вследствие этого они гораздо быстрее разрушаются, чем на подходящих к ним дорогах.

Отсутствие необходимой каркасности у ЩМА возмож-

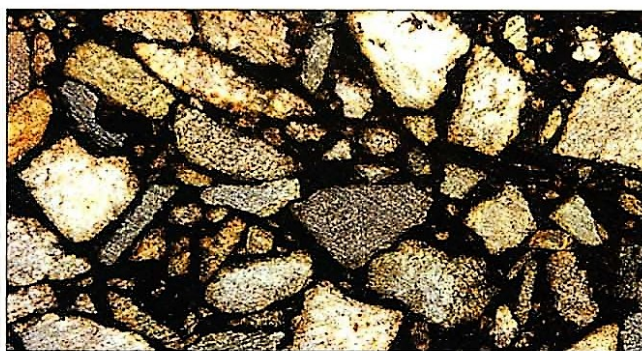


Рис. 8. Структура щебнемасличного асфальтобетона по срезу образца из покрытия.

но также потому, что подбор состава ЩМА в лаборатории, и в первую очередь оптимальное содержание битума, выполняется по не очень понятным критериям и, видимо, не совсем точно.

Если все щебенки будут контактировать друг с другом, а этого можно добиться за счет уплотнения, то и битума потребуется меньше, и его излишки не будут мигрировать на поверхность покрытия, как это иногда происходит даже при статической укатке обычных асфальтобетонов.

В принципе уплотнение этого нового материала надлежит осуществлять так же, как и раньше это делали при статической укатке многощебенистых каркасных смесей типа А и Б, тремя катками с разной, но постепенно повышающейся уплотняющей способностью каждого из них (повышающийся индекс контактных давлений  $p_k$ ). При этом, однако, не следует упускать из виду особенность ЩМА, связанную с повышенным содержанием битума, который при уплотнении, помимо всего прочего, служит своеобразной смазкой между щебенками. Поэтому показатель  $p_k$  и, соответственно, общий вес катков для ЩМА может быть несколько понижен, по сравнению с требуемыми значениями  $p_k$  для обычных многощебенистых смесей типа А и Б. Особенно у первого (легкого) катка и частично у катка среднего, не уменьшая  $p_k$  у тяжелого.

Теперь еще раз о регулировании уплотняющих усилий катков, и, прежде всего, у вибрационных. Ранее здесь уже рассматривался вопрос о регулировании таких усилий при смене марки битума

у асфальтобетона, его гранулометрического состава или типа, толщины уплотняемого слоя. Все это может быть учтено и заранее отрегулировано перед началом выполнения работ на дороге.

Но есть еще один важный аспект этой проблемы, связанный с непосредственным выполнением катком своей уплотняющей миссии на рабочей захватке устраиваемого покрытия (см. технологическую схему на рис. 7).

Как вибрационный, так и статический каток при работе челночным способом на полосе своей захватки поочередно проходит по участкам будущего покрытия, имеющим различные показатели температуры и плотности смеси. Ближе к укладчику смесь горячее, но менее плотная, а дальше от укладчика ее температура ниже, но зато плотность выше.

В итоге это означает, что прочностные и деформативные свойства уплотняемой смеси на пути следования катка постоянно изменяются. То возрастают при движении катка от укладчика, то уменьшаются при обратном перемещении. Следовательно, для наиболее эффективного и высококачественного уплотнения слоя асфальтобетонной смеси каток в идеале должен непрерывно изменять (то повышать, то уменьшать) свое динамическое или статическое силовое воздействие на слой с соблюдением главного принципа «не навредить, но и не снижать качества и к. п. д. уплотнения».

«Не навредить» означает не разрушать поверхность уплотняемого слоя и не оставлять на ней всевозможных, даже мелких дефектов в виде сдвигов, наплывов, трещин,

полос, волн и т. п. «Не снижать качества и к. п. д. уплотнения» следует понимать в том смысле, что на каждом проходе катка остаточная деформация уплотнения или осадка поверхности слоя должна быть такой, чтобы, например, за 6–8 своих вибрационных проходов каток создал суммарную остаточную осадку, соответствующую коэффициенту уплотнения асфальтобетона не менее 0,98–0,99 или даже выше (1,0–1,01).

Выполнить оба требования указанного принципа можно только в одном случае: если создаваемые катком максимальные контактные давления  $\sigma_0$  на поверхность слоя будут не больше и не меньше  $R_{кр}$  по (7,8), а точно соответствовать ему.

Из рис. 7 и графика рис. 2 следует, что при перемещении виброкатка с участка смеси с  $T=130^\circ\text{C}$  и  $K_y=0,89\div 0,90$  на участок  $T=90\div 85^\circ\text{C}$  и  $K_y=0,98\div 0,99$  изменение прочности смеси типов А и Б составляет примерно до 4 раз. Следовательно, и максимальные контактные давления виброкатка тоже должны изменяться во столько раз.

На самом же деле большинство сейчас работающих у дорожников виброкатков так сконструированы, что никакого подобного роста или снижения сил воздействия их валцов, пропорционального изменению контактных давлений, не предусмотрено. Реально при включении вибрационного режима уплотнения центробежная сила сразу же принимает свое максимальное значение. В итоге эта динамическая сила вместе с весовой нагрузкой вальца создает чрезмерный перегруз асфальтобетона, осо-

Таблица 8. Оптимальное регулирование силовых воздействий виброкатка при уплотнении многощебенистого горячего асфальтобетона с битумом БНД90/130 на различных участках захватки.

Толщина слоя, см	Требуемые параметры виброкатка				Потребные силовые воздействия при работе катка на участке											
					Вблизи у укладчика $K_y=0,89\div 0,90; T=130\div 125^\circ\text{C}$				В середине $K_y=0,96; T=110\div 105^\circ\text{C}$				Вдали от укладчика $K_y=0,99; T=90^\circ\text{C}$			
	$Q, \text{т}$	$P_{кр}, \text{кгс/см}^2$	$F_{ор}, \text{тс}$	$B \times D, \text{мм}$	$P_{кр}, \text{кгс/см}^2$	$F_{ор}, \text{тс}$	$P_{ор}, \text{тс}$	$Q, \text{т}$	$P_{кр}, \text{кгс/см}^2$	$F_{ор}, \text{тс}$	$P_{ор}, \text{тс}$	$Q, \text{т}$	$P_{кр}, \text{кгс/см}^2$	$F_{ор}, \text{тс}$	$P_{ор}, \text{тс}$	$Q, \text{т}$
6	9,0	1,83	7,5 (100%)	1680×1200	1,91	5,0 (52%)	1,0 (13%)	9,0	2,58	7,6 (80%)	5,6 (75%)	14,0	3,0	9,6 (100%)	7,5 (100%)	16,7
10	15,0	2,08	13,3 (100%)	2140×1400	2,18	8,1 (49%)	1,5 (11%)	15,0	3,08	13,7 (84%)	11,3 (85%)	25,0	3,50	16,5 (100%)	13,3 (100%)	29,0