

# ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Стоимость строительства, реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог главным образом определяется затратами на устройство дорожной одежды – самого дорогостоящего элемента автомобильных дорог. В связи с чем выбор эффективной конструкции дорожной одежды является основным этапом технико-экономического сравнения вариантов.

Технико-экономическое сравнение вариантов дорожных одежд (ТЭСВАО) основное внимание уделяет строительным затратам. В этом случае предпочтение отдается более дешевой дорожной одежде, в то время как у такой конструкции чаще всего существенно меньший срок службы до капитального ремонта и существенно выше фактические расходы на ремонт, содержание в течение ее жизненного цикла. Более интенсивный процесс развития повреждений на таких конструкциях ухудшает их эксплуатационное состояние и вызывает увеличение расходов пользователей автомобильными дорогами.

В настоящее время эффективный вариант дорожной одежды при технико-экономическом сравнении определяется по минимальным дисконтированным затратам, которые вычисляются по следующей формуле:

$$ДЗ = K + \sum_1^{N_{кр}} \frac{C_{кр}}{(1+E)^{tkp}} + \sum_1^{N_p} \frac{C_p}{(1+E)^{tp}} + \sum_{t=0}^T \frac{C_{сод}}{(1+E)^t} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $K$  – стоимость устройства дорожной одежды;

$C_{кр}$ ,  $C_p$ ,  $C_{сод}$  – стоимость, соответственно, капитального ремонта, ремонта и ежегодного содержания дорожной одежды;

$N_{кр}$ ,  $N_p$  – количество, соответственно, капитальных ремонтов и ремонтов за срок сравнения вариантов;

$T$  – срок сравнения вариантов (принимается равным максимальному из сроков службы дорожной одежды до ка-

питального ремонта по сравниваемым вариантам);

$E$  – норма дисконта.

В то же время, согласно Постановлению Правительства РФ от 23 августа 2007 г. № 539 «О нормативах денежных затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог федерального значения и правилах их расчета» упомянутые расходы не зависят от типа дорожной одежды (жесткого или нежесткого типа). Не учитываются при эксплуатации дорожных одежд из-за плохого состояния покрытия и издержки пользователей дорог. У проектных организаций очень часто при сравнении по дисконтированным затратам экономически эффективными получаются нежесткие дорожные одежды, срок службы которых практически в два раза меньше срока службы дорожных одежд жесткого типа. Основной целью проводимых нами исследований является разработка предложений по совершенствованию методики ТЭСВАО путем учета соответствующего зарубежного опыта, анализа опыта эксплуатации автомобильных дорог на территории Российской Федерации, а также тенденций отечественной и зарубежной практики применения инновационных технических решений в дорожных конструкциях.

Совершенствование методики ТЭСВАО целесообразно выполнять с опорой на анализ зарубежного опыта, проведенного канд. техн. наук Д.М. Немчиновым, и рекомендаций, учитывающих следующие факторы:

- увеличение периода анализа сравнения вариантов;

- дифференцированная потребность в денежных затратах на содержание дорожной одежды в зависимости от срока эксплуатации дорожной одежды;

- снижение скорости движения транспортного потока и ровности покрытия в процессе жизненного цикла дорожной одежды;

- затраты пользователей дорог в процессе эксплуатации, по годам, в зависимости от основных показателей транспортных потоков (состав, структура и снижение скорости) и от увеличения времени пребывания в пути пассажиров;

- расходы пользователей в год выполнения капитального ремонта и ремонта из-за ограничения движения транспортных средств на участке выполнения ремонтных работ;

- затраты пользователей в период временного ограничения движения транспортных средств (в весенний период и летний период, когда температура поверхности покрытия нежесткой дорожной одежды превышает температуру размягчения вяжущего);

- внедрение в конструкции дорожных одежд новых инновационных технологий, которые позволяют увеличивать межремонтные сроки службы дорожной одежды;

- фактическая ставка дисконтирования на день выполнения работ по ТЭСВАО;

- рост интенсивности движения (в том числе по закону сложных процентов) в процессе эксплуатации автомобильной дороги;

- остаточная стоимость дорожной одежды.

## Период анализа сравнения вариантов дорожной одежды

Рекомендованный срок сравнения вариантов дорожной одежды в США – 35 лет. При этом предусматривается проведение хотя бы одного капитального ремонта для каждого сравниваемого варианта дорожной одежды. По дан-

ным Д.М. Немчинова, основанным на обзоре литературных источников США, рекомендуемый период анализа зависит от типа дорог и равен:

- для городской магистрали с высокой интенсивностью движения 30–50 лет;
- для внегородской магистрали с высокой интенсивностью движения 20–50 лет;
- для дороги со средней интенсивностью движения 15–25 лет;
- для дороги с низкой интенсивностью движения 10–20 лет.

В настоящее время в России период анализа сравнения вариантов принимают по типу дорожной одежды, который имеет наибольший срок службы до капитального ремонта. В соответствии с Приказом Минтранса России от 01 ноября 2007 г. № 157 «Межремонтные сроки проведения капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог общего пользования федерального значения и искусственных сооружений на них» максимальный срок службы до капитального ремонта для жестких дорожных одежд составляет 25 лет. Для нежестких дорожных одежд (с покрытием из асфальтобетонного типа А на основе полимерно-битумного вяжущего) – от 17 до 21 года. Для автомобильных дорог с нежесткой дорожной одеждой и низкой интенсивностью движения срок службы достигает всего лишь 10–12 лет. Более того, результаты ТЭСВАО при вышеуказанных малых периодах сравнения вариантов (25 лет), как правило, рассчитанные по суммарным дисконтированным затратам, приводят к преимуществу нежестких дорожных одежд. Проф. Ю.М. Ситников рекомендует в проектной документации расчетный срок суммирования затрат принимать в пределах 30–35 лет. В связи с изложенным выше и тенденцией к гармонизации отечественных методик расчета с зарубежными, рекомендуется увеличить период анализа сравнения вариантов до  $1,5 \times C$ , где  $C$  – наибольший срок службы дорожной одежды до капитального ремонта одного из сравниваемых вариантов.

#### Учет потребности в денежных затратах на содержание дорожной одежды в зависимости от срока эксплуатации дорожной одежды

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 23 августа 2007 г. № 539 потребности в денежных затратах на ремонт и содержание дорог не

зависят от срока эксплуатации различных типов дорожной одежды в различных дорожно-климатических условиях. Безусловно, чем больше эксплуатируется дорога, тем больше будут увеличиваться затраты на ремонт и содержание дорожной одежды. Следовательно, необходимо выполнить дифференциацию данных затрат.

#### Учет изменения ровности и уменьшения скорости движения транспортного потока в процессе жизненного цикла дорожной одежды

Известно, что в процессе эксплуатации автомобильной дороги с каждым годом ухудшаются условия движения, которые выражаются в появлении дефектов на покрытии, в снижении ровности и, как результат – в уменьшении скорости движения транспортного потока (см. рис. 1). В зависимости от ровности покрытия и скорости движения транспортного потока будут определяться как затраты пользователей дорог, так и затраты на ремонт и содержание автомобильных дорог.

Приведенный на рис. 1 график затрагивает коэффициент ровности в пределах от 0 до 500 см/км, в то время как ровность при низких уровнях надежности дорожной одежды (например, менее 0,95), полученная канд. техн. наук В.К. Апестиним

и канд. техн. наук А.М. Стрижевским с помощью прибора ПКРС-2, более 500 см/км (см. табл. 1).

По результатам исследований проф. А.П. Васильева зависимость средней скорости транспортного потока от ровности дорожного покрытия будет иметь следующий вид (см. рис. 2). На основе данных табл. 1, рис. 1, 2 и согласно приказу Минтранса России от 01 ноября 2007 г. № 157 проф. А.М. Кулижниковым была составлена табл. 2, которую целесообразно использовать при ТЭСВАО. В ней приведено изменение средней скорости транспортного потока и ровности покрытия за срок службы дорожной одежды в зависимости от категории автомобильной дороги, типа дорожной одежды и дорожно-климатической зоны.

#### Учет затрат пользователей дорог в процессе эксплуатации в зависимости от ровности автомобильной дороги и скорости движения транспортного потока

В процессе эксплуатации дороги неизбежно будут ухудшаться условия движения, снижаться ровность покрытия и уменьшаться средняя скорость транспортного потока. В этом случае затраты пользователей на транспорте будут увеличиваться, так как повысятся

Рис. 1. Зависимость скорости движения от коэффициента ровности

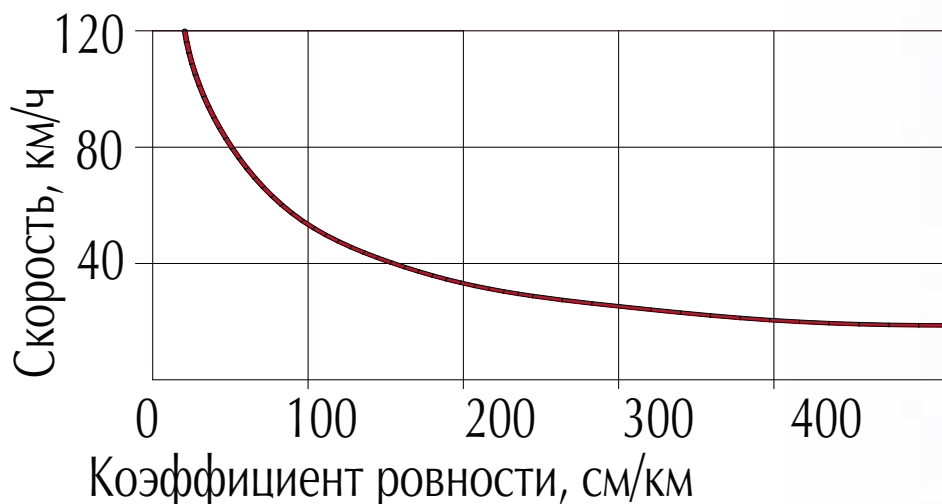
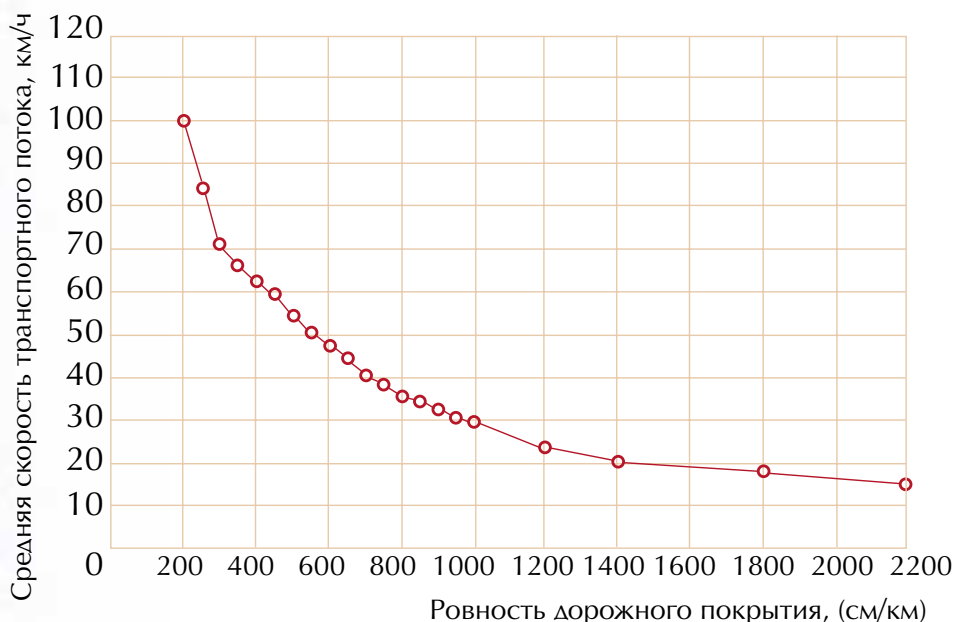


Табл. 1. Зависимость ровности покрытия от уровня надежности

Уровень надежности	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Ровность, см/км	2000	1900	1800	1750	1650	1600	1200	850	500

Рис. 2. Зависимость средней скорости транспортного потока от ровности дорожного покрытия



капитальные вложения в автомобильный транспорт, в связи с увеличением расхода топлива, износом транспортных средств, увеличением времени доставки грузов и пассажиров; повысятся затраты на перевозку грузов и пассажиров в результате ухудшения дорожных условий. В то же время в других отраслях затраты пользователей будут повышаться за счет увеличения потерь времени от пребывания в пути пассажиров, роста потребности предприятий и организаций в оборотных средствах. Представляет интерес и учет увеличения количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в результате ухудшения дорожных условий.

С учетом вышеизложенного, формула (1) претерпит изменение, так как минимальное значение показателя дисконтированных затрат будет учитывать дополнительно затраты пользователей, а также остаточную стоимость дорожной одежды и по данным проф. Э.В. Дингеса будет определяться по следующей формуле:

$$\begin{aligned}
 ДЗ_v = & K + \sum_{i=1}^n C_{kp_i} (1+E)^{-t_i} + \\
 & + \sum_{j=1}^m C_{p_j} (1+E)^{-t_j} + \sum_{t=1}^T C_t (1+E)^{-t} + \\
 & + \sum_{t=1}^T \Pi_t (1+E)^{-t} - \mathcal{E}_T (1+E)^{-T} \rightarrow \min, \\
 & v = \overline{1, V} \quad (2)
 \end{aligned}$$

где  $v$  – порядковый номер рассматриваемого варианта конструкции дорожной одежды;

$V$  – количество вариантов конструкций дорожных одежд;

$T$  – продолжительность расчетного периода (срок сравнения вариантов);

$t$  – порядковый номер года расчетного периода ( $t = 1, \dots, T$ );

$n$  – количество капитальных ремонтов за расчетный период;

$i$  – порядковый номер капитального ремонта ( $i = 1, \dots, n$ );

$m$  – количество ремонтов за расчетный период;

$j$  – порядковый номер ремонта ( $j = 1, \dots, m$ );

$t_i$  – год проведения  $i$ -го капитального ремонта;

$C_{kp_i}$  – затраты на осуществление  $i$ -го капитального ремонта;

$t_j$  – год проведения  $j$ -го ремонта;

$C_{p_j}$  – затраты на осуществление  $j$ -го ремонта;

$C_t$  – затраты на содержание конструкции дорожной одежды в году  $t$ ;

$\Pi_t$  – социально-экономические потери от снижения транспортно-эксплуатационных качеств конструкции дорожной одежды по сравнению с расчетными в году  $t$ ;

$E$  – безрисковая социальная норма дисконта в относительных единицах изменения;

$\mathcal{E}_T$  – эффект последствия (остаточная стоимость конструкции дорожной одежды) на год  $T$ .

Общая величина социально-экономических потерь от снижения транспортно-эксплуатационных качеств конструкций дорожных одежд в году  $t$  по рекомендациям проф. Э.В. Дингеса определяется по формуле:

$$\Pi_t = \Delta C_{at} + \Delta P_t + \Delta K_{at} + \Delta O_t + \Delta D_t, \quad (3)$$

где  $\Delta C_{at}$ ,  $\Delta P_t$ ,  $\Delta K_{at}$ ,  $\Delta O_t$ ,  $\Delta D_t$  – потери от увеличения соответственно себестоимости перевозок грузов и пассажиров, времени пребывания пассажиров в пути, капитальных вложений в автомобильный транспорт, потребности в оборотных средствах, количества дорожно-транспортных происшествий.

Результаты предварительных расчетов показывают, что увеличение потребности в оборотных средствах оказывает незначительное влияние, поэтому упомянутой составляющей можно пренебречь. Учет потерь от дорожно-транспортных происшествий требует дополнительных научных исследований, в связи с чем на сегодняшний день не может быть учтен. Тогда формула (3) примет следующий вид:

$$\Pi_t = \Delta C_{at} + \Delta P_t + \Delta K_{at} \quad (4)$$

**Учет увеличения затрат пользователей в год выполнения капитального ремонта и ремонта из-за ограничения движения транспортных средств на участке выполнения ремонтных работ**

Как правило, в период выполнения капитального ремонта или ремонта участка автомобильной дороги закрывается для движения поочередно одна полоса движения либо две полосы движения. А иногда весь участок движения с организацией объезда, по обочине или по другой дороге и, чаще всего, большей протяженности. В результате чего искусственно создается пробка и снижается скорость движения транспортного потока. Средняя скорость транспортного потока по ремонтируемому участку автомобильной дороги составляет от 10 до 30 км/ч, и в итоге пользователи несут большие убытки.

Применение зарубежных методик расчета затрат пользователей в годы выполнения ремонтных работ сдерживается отсутствием достоверных исходных данных. Научно-исследовательских работ по упомянутой тематике на территории

Российской Федерации не проводилось, поэтому таблиц исходных данных (продолжительность ремонтных работ, скорость движения транспортного потока по ремонтируемому участку, протяженность ремонтируемого отрезка, протяженность задержанного транспортного потока, простой транспортных средств, эффективное количество закрываемых полос движения и т.д.) для разных категорий автомобильных дорог нет. В то же время, как показывает зарубежный опыт, затраты пользователей в год выполнения капитального ремонта и ремонта из-за ограничения движения транспортных средств на участке выполнения ремонтных работ существенно превышают эксплуатационные потери, поэтому должны подлежать учету.

#### Учет увеличения затрат пользователей в период временного ограничения движения транспортных средств

Эта составляющая заслуживает внимания только в том случае, если затраты пользователей в период временного весеннего ограничения движения для

сравниваемых конструкций дорожных одежд будут разными. Например, жесткие дорожные одежды будут иметь более значительную допустимую расчетную нагрузку на ось в весенний период, чем нежесткие. Тем самым наибольший транспортный поток будет пропускаться в весенний период.

В период ограничения движения транспортных средств и нагрузок на ось весной, независимо от типа покрытия (жесткое или нежесткое), сроки ограничения в настоящее время одни и те же, поэтому дифференциации по допустимой нагрузке на ось нет. В связи с изложенным, так как затраты пользователей у сравниваемых конструкций дорожной одежды в период временного ограничения движения транспортных средств будут одинаковы, их можно не учитывать. Очевидно, что в летний период, когда температура поверхности покрытия нежесткой дорожной одежды превышает температуру размягчения вяжущего, будет необходимо ограничивать движение тяжелых автомобилей в дневной период,

чтобы избежать образования колеи. В то время как, для дорожных одежд с жестким покрытием этого делать не придется.

#### Учет увеличения межремонтных сроков службы дорожной одежды при внедрении новых инновационных технологий

Внедрение новых дорожно-строительных материалов, современных конструкций, прогрессивных технологий, эффективной техники позволяет в ряде случаев продлить сроки службы дорожных одежд. Например, в соответствии с приказом Минтранса России от 01 ноября 2007 г. № 157 для автомобильных дорог с покрытиями из асфальтобетона типа А на основе полимерно-битумного вяжущего, срок службы дорожной одежды до капитального ремонта увеличивают на 8–10%. Следовательно, при наличии нормативно-технических и методических документов, утвержденных Федеральным дорожным агентством (Росавтодором), с указанием конкретных данных по увеличению межремонтных сроков службы, целесообразно при ТЭСВДО учитывать повышенные

Табл. 2. Зависимость начальной и конечной скоростей движения транспортного потока от категории автомобильной дороги и типа дорожной одежды

Категория	Начальная скорость транспортного потока, км/ч	Дорожно-климатическая зона											
		I-II				III				IV-V			
		Конечная скорость /ровность покрытия, км/ч /см/км	Межремонтный срок, годы	Коэффициент надежности	% разрушений дорожной одежды	Конечная скорость /ровность покрытия, км/ч /см/км	Межремонтный срок, годы	Коэффициент надежности	% разрушений дорожной одежды	Конечная скорость /ровность покрытия, км/ч /см/км	Межремонтный срок, годы	Коэффициент надежности	% разрушений дорожной одежды
		Капитальный тип дорожной одежды											
IA, IB, IV	100	60/430	12	0,98	2	50/550	14	0,95	5	30/990	18	0,88	12
II	85	50/550	12	0,95	5	40/710	12	0,92	8	30/990	15	0,88	12
III	75	40/710	12	0,92	8	34/850	12	0,90	10	24/1200	15	0,85	15
IV	60	24/1200	12	0,85	15	22/1280	12	0,84	16	21/1360	12	0,83	17
		Облегченный тип дорожной одежды											
III	75	25/1130	12	0,86	14	24/1200	12	0,85	15	22/1280	12	0,84	16
IV	60	24/1200	10	0,85	15	22/1280	10	0,84	16	20/1420	12	0,82	18
V	45	20/1420	10	0,82	18	19/1600	10	0,80	20	19/1610	12	0,79	21



сроки службы со ссылкой на упомянутые документы.

#### Учет фактической ставки дисконтирования на день выполнения работ по ТЭСВАО

Ставка дисконтирования (норма дисконта) оказывает существенное влияние на результаты ТЭСВАО. Ставка дисконтирования может зависеть от сценариев прироста ВВП и характеристики территории (например, неосвоенные и малоосвоенные территории, города с численностью населения более 500 тыс. человек и прочие территории). Например, по данным Х.К. Миножетдинова рекомендуются значения нормы дисконта для проектов дорожного строительства в зависимости от упомянутых параметров. Настораживают приведенные значения нормы дисконта, превышающие 8%. По всей видимости, данные таблицы на сегодняшний день требуют некоторой корректировки.

С учетом вышеуказанного замечания целесообразно по рекомендациям канд. техн. наук Д.М. Немчинова принимать в расчетах прогнозную ставку дисконтирования Центрального банка РФ. Эта ставка принимается как ставка безрисковых вложений, которыми считаются государственные федеральные ценные бумаги. Ставка дисконтирования принимается как средняя ставка долгосрочной доходности государственных казначейских обязательств – облигаций федерального займа за последний год. Данные об указанной ставке можно получить ежедневно на сайте Центрального банка Российской Федерации в сети Интернет [http://www.cbr.ru/hd\\_base/GKOOFZ\\_MR.asp](http://www.cbr.ru/hd_base/GKOOFZ_MR.asp).

#### Учет роста интенсивности движения в процессе эксплуатации автомобильной дороги

С учетом роста интенсивности движения в течение периода анализа сравнения вариантов дорожной одежды будет быстрее происходить снижение прочности дорожной одежды и ухудшение ровности, а также уменьшение средней скорости движения транспортного потока. При определенных интенсивностях движения будут учащаться межремонтные сроки службы дорожной одежды согласно приказу Минтранса России от 01 ноября 2007 г. № 157. Результатом уменьшения межремонтных сроков службы дорожной одежды будет являться увеличение количества ремонтов и повышение общих затрат на ремонт автомобильной дороги.

#### Учет остаточной стоимости дорожной одежды

В США оценивают остаточную стоимость дорожной одежды на конец периода сравнения вариантов дорожной одежды, так как остаточная стоимость характеризует часть затрат на восстановление потребительских характеристик дорожной одежды и показывает оставшийся срок службы дорожной одежды после окончания периода сравнения вариантов. Следовательно, остаточная стоимость характеризует дорожную одежду и поэтому подлежит учету путем вычитания в каждом варианте из дисконтированных расходов соответствующей дисконтированной остаточной стоимости. Остаточная стоимость конструкции дорожной одежды, прослужившей меньше нормативного срока службы  $t_{cr}$ , на год  $\varphi$

по рекомендациям проф. Э.В. Дингеса может быть определена с учетом необходимости дисконтирования разновременных затрат по формуле:

$$K^{\varphi} = \frac{K [(1+E)^{t_{cr}} - (1+E)^{\varphi}]}{(1+E)^{t_{cr}} - 1} \quad (5)$$

#### Выводы

Рассмотренные предложения по совершенствованию методики ТЭСВАО целесообразно использовать при разработке ОДМ «Методика технико-экономического сравнения вариантов дорожных одежд». Проведенный анализ показывает, что на сегодняшний день для совершенствования методики ТЭСВАО представляется целесообразным провести по плану НИОКР исследования по следующим темам:

1. Исследование изменения скоростей движения транспортных потоков в жизненном цикле жесткой и нежесткой дорожной одежды в зависимости от дорожно-климатической зоны, категории автомобильной дороги, срока эксплуатации, состава движения, типов дорожных одежд, ровности покрытия, сроков выполнения ремонтных работ.
2. Исследование оптимальных технологических параметров (количество перекрываемых полос движения, продолжительность выполнения ремонтных работ, протяженность участка, на котором ведутся ремонтные работы, скорость движения транспортных средств на ремонтируемом участке и т.д.) организации движения автомобилей в период выполнения капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог разных категорий.
3. Разработка методики подсчета потребности в денежных затратах на ремонт и содержание дорог в зависимости от срока эксплуатации различных типов дорожной одежды в различных дорожно-климатических условиях.
4. Влияние типов дорожных одежд на сроки ограничения движения транспортных средств и допускаемые осевые нагрузки в период ослабленного состояния дорожных конструкций.

**А.М. Кулижников,**  
д-р техн. наук, проф.,  
заместитель генерального директора  
ФГУП «РОСДОРНИИ»