

С. Буткявичюс, инженер Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса, Литва
К. Петкявичюс, доцент Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса, Литва

НАГРУЗКИ НА ОСЬ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИХ ОГРАНИЧЕНИЯ В НЕБЛАГОПРИЯТНОЕ ВРЕМЯ ГОДА

This article deals with problems that arise due to restrictions on axle loads and traffic of heavy weight vehicles during unfavourable seasons, ways of solving those problems in practice as well as results of the experimental research on pavement deterioration due to fatigue as a result of impact of heavy weight vehicle loads on pavements.

Введение.

В последнее время большие проблемы вызывает увеличение числа тяжеловесных автомобилей на дорогах и недостаточное финансирование дорог. Дороги Литвы по своим параметрам (ширине и ровности покрытий, прочности дорожных одежд и др.) не способны выдержать увеличивающиеся осевые нагрузки транспортных средств (ТС) и движение тяжеловесных автомобилей. После уменьшения объемов работ по совершенствованию и ремонту покрытий, а также по повышению прочности дорожных одежд состояние дорожных покрытий и одежд резко ухудшается, увеличивается колеиность. В последние годы увеличилась потребность в уходе за покрытиями в зимнее время и их ремонте весной. Из-за недостаточного финансирования качество дорожных работ не всегда соответствует требуемому уровню, а объемы этих работ не соответствуют потребностям, поэтому состояние дорожных покрытий неизбежно ухудшается.

Из-за нехватки денежных средств большая часть автомобильных дорог Литвы, требующих реконструкции, в последнее десятилетие не была реконструирована. Техническая категория (согласно интенсивности движения) большинства дорог оказалась ниже требуемой. В настоящее время большую часть магистральных дорог IV и V категории, а также краевых дорог необходимо реконструировать, так как при интенсивном движении тяжеловесных транспортных средств (ТТС) не хватает ни прочности дорожных одежд, ни ширины проезжей части.

Предлагаемые меры по ремонту дорожных покрытий не всегда соответствуют срокам проведения работ и требуемым для их осуществления материальным средствам. Эта проблема особенно актуальна, когда финансирование дорожного хозяйства оказывается недостаточным. В последние 30 лет это положение является актуальным и для других стран [1–5]. В целях рационального распределения средств для поддержания дорог в требуемом эксплуатационном состоянии полезно составить модель оптимальной стратегии ремонта каждой дороги.

В статье проанализированы проблемы увеличения осевых нагрузок ТТС и ограничения их движения в неблагоприятное время

года, определены приемлемые способы решения этих проблем.

1. Осевые нагрузки ТТС и ограничения их движения в неблагоприятное время года.

В настоящее время допустимые осевые нагрузки ТТС в разных странах Европы различаются, поэтому в Евросоюзе предпринимаются попытки ввести единые нормы. Намечается в международных перевозках и перевозках на большие расстояния тенденция применения ТТС большой грузоподъемности. Это будет способствовать уменьшению автомобильного парка, его эксплуатационных расходов, количества топлива, применению для перевозок нормированных контейнеров. Однако нагрузки ТТС ускоряют разрушение дорожных покрытий, особенно если несущая способность дорожных одежд недостаточна. Экономический эффект от применения ТТС не способен компенсировать затраты на ремонт дорог и уход за ними. Разрушительное воздействие на покрытия и дорожные одежды при движении ТТС в разное время года оказывается разным: оно усиливается, когда капитальность дорожных одежд уменьшается.

По А. О. Саллю [6], дороги III и IV категории весной разрушаются в 6–8 раз быстрее, чем дороги I и II категории, а дороги с облегченными покрытиями почти в 20 раз чувствительнее реагируют на разрушительное воздействие по сравнению с дорогами, имеющими покрытия капитального типа. Чтобы сберечь дороги от разрушительного воздействия и рационально использовать прочность дорожных одежд в неблагоприятное время года, целесообразно ограничить движение ТТС по дорогам с недостаточной прочностью дорожных одежд.

Для предупреждения быстрого разрушения дорожных покрытий при сезонном уменьшении прочности дорожных одежд чаще всего применяются два способа:

- уменьшение нагрузок транспортных средств;
- устройство более капитальных и дорогих дорожных одежд, способных при разных условиях дольше сохранить свою прочность.

Ограничение нагрузок транспортных средств весной во время оттаивания грунта с целью защиты покрытий от повреждений широко приме-

няется в США и Европе. Впервые эта мера была применена во Франции [7].

Дороги с небольшой интенсивностью движения составляют большую часть дорог мира (в том числе и США, где система дорог между штатами составляет менее 2% длины дорог страны) [3]. При нехватке средств на строительство дорог во многих штатах США (18 из 33 исследованных) было введено ограничение нагрузки на ось ТС (чаще всего для дорог местного значения). Во многих штатах предельная нагрузка составляет 8–9 т на одиночную и 15,3 т на парную ось. Весной предельно допустимые нагрузки составляют от 4,5 до 6,3 т на одиночную и от 8,1 до 12,6 т на парную ось.

Эти ограничения вводятся для дорог с неукрепленными, усовершенствованными облегченными и капитальными (асфальтобетонными) покрытиями, срок службы которых может составлять до 20 лет, когда земляное полотно возведено из глинистых или пылеватых грунтов, особенно чувствительных к изменению влажности [8]. Нагрузки могут быть уменьшены на 40–50% для одиночных и на 30–50% для парных осей. Эти ограничения нагрузок с учетом толщины слоев дорожных одежд и срока их службы, состояния и тенденции изменчивости влажности земляного полотна, а также местного опыта эксплуатации дорог применяются в том случае, когда прогибы дорожных одежд (в период оттаивания грунта) на 45–50% превышают прогибы, фиксируемые летом. С учетом результатов прогибов дорожных одежд допустимые значения осевых нагрузок могут быть уменьшены на 20–60%.

В Украине, чтобы избежать досрочного массового разрушения дорожных покрытий, рекомендуется на основе действующих нормативных документов [9] временно ограничить осевые нагрузки и интенсивность движения ТС в тот период года, когда условия увлажнения земляного полотна (весной в период оттаивания грунта) бывают относительно неблагоприятны. В качестве критерия для ограничения принято критическое значение общего модуля упругости $E_f^{(кр)}$ дорожной одежды, а движение ТТС может быть ограничено или запрещено. Дата начала ограничений устанавливается по температуре оттаивания грунта земляного полотна: +2–+4 °С – для суглинка и глинистых грунтов, 0–+2 °С – для супеси и песчаных грунтов. Ограничения действительны до тех пор, пока прогибы дорожных одежд не станут меньше допустимых (для конкретных дорожных одежд) при ожидаемой интенсивности движения транспортных средств.

Однако опыт [1–5, 8] показал, что такие ограничения на практике применяются довольно редко, так как не во всех странах имеется достаточно густая сеть дорог и не везде хватает объездных автомобильных дорог, имеющих покрытия с требуемыми эксплуатационными свойствами. Только при наличии дорог с требуемыми транспортными свойствами и условиями движения ТС необходимую часть движения можно направить по альтернативным дорогам, прочность дорожных одежд которых является достаточной.

2. Получение и анализ основных результатов.

Для того чтобы в течение всего года без ограничений осуществлять движение ТТС, дорожные покрытия следует усиливать. В Германии, например, было принято, что покрытия следует усилить настолько, чтобы осевую нагрузку можно было увеличить со 100 кН до 130 кН [5]. Напряжения и деформации в типичных конструктивных слоях дорожных одежд устанавливали по программе BISA. В качестве основных критериев прочности принимались относительная деформация, образующаяся из-за напряжений растяжения в асфальтобетоне, и относительные деформации в неукрепленных слоях дорожных одежд. Также было принято положение, что при увеличении осевой нагрузки увеличивается грузоподъемность автомобиля, а число необходимых поездок уменьшается, при этом предусматривалось, чтобы коэффициент запаса прочности дорожных одежд был одинаковым.

Определено [5], что толщина покрытий, устроенных из битумоминеральных материалов, должна быть увеличена следующим образом: при имеющейся толщине 30 см – до 35 см, при толщине 22 см – до 26 см и при толщине 14 см – до 17 см. Таким образом, с увеличением нагрузки в 1,3 раза толщина упомянутых слоев должна быть увеличена на 3–5 см.

Толщина слоев дорожной одежды и допустимые нагрузки ТТС связаны следующей зависимостью [5]:

$$\frac{H_i}{H_j} \approx \left(\frac{Q_i}{Q_j} \right)^\beta, \quad (1)$$

где H_i , H_j – толщина слоев дорожной одежды, см; Q_i , Q_j – осевые нагрузки ТТС, МПа; $\beta = 0,6–0,8$, меньшее значение β принимается для покрытий капитального типа.

Зная, что напряжения в грунте земляного полотна прямо пропорциональны нагрузке и обратно пропорциональны квадрату толщины дорожного покрытия ($\tau = f(Q/z^2)$), можно показать, что толщина покрытия (и стоимость его устройства) обратно пропорциональна квадрат-

ному корню нагрузки (т. е. $\beta = 0,5$). Если дорожную одежду не усиливать, срок ее службы с увеличением нагрузки значительно сократится, так как число возможных ездов транспортных средств до разрушения асфальтобетонного или цементобетонного покрытия обратно пропорционально величине нагрузки в четвертой степени.

В связи с тем, что во многих странах допустимые осевые нагрузки ТТС превышают 100 кН, при осуществлении международных перевозок в нашей стране (даже при относительно небольшой части ТТС в общем потоке транспортных средств) дорожные покрытия разрушаются довольно интенсивно.

Из-за наличия значительной части дорог с покрытиями недостаточной прочности, недостаточности средств для усиления покрытий, а также из-за отсутствия возможности ограничивать осевые нагрузки в неблагоприятное время года одной из мер сохранения и восстановления дорожных покрытий является сбор налогов, способных компенсировать убытки из-за разрушения покрытий.

С учетом сезонного изменения прочности материалов слоев покрытий, напряжений и деформаций в конструктивных слоях дорожных одежд, а также интенсивности движения транспортных средств, в связи с накоплением повреждений меняется срок службы верхних монолитных слоев дорожных одежд.

Предельное число нагрузок на покрытие, при котором в монолитных его слоях появляется сплошная вертикальная трещина во всей толщине слоя (или слоев), зависит от коэффициента запаса k_n [10]. При определенной надежности, например, $\alpha = 0,85$, можно определить циклическую долговечность монолитного слоя. В физическом смысле эта надежность показывает число приложенных нагрузок, которые в лабораторных испытаниях без повреждений может выдержать 85% материала слоя. При устройстве дорожной одежды принимается, что ее надежность $\alpha = 0,85$ обозначает тот факт, что, при достижении дорожной одеждой определенного нормативного срока службы, 15% площади покрытия будет повреждено различными дефектами из-за воздействия проектной нагрузки $N^*(\alpha)$ и климатических факторов. В каждое время года циклическая долговечность дорожной одежды устанавливается с учетом надежности α [10]:

$$N_i = \left(\frac{R_i}{\sigma_i} \right)^b (1 - t_a C_v)^b, \quad (2)$$

где σ_i — напряжения от приложенных нагрузок, МПа; R_i — остаточная прочность монолитного слоя после приложения N_i нагрузок с напряже-

нием σ_i амплитудой σ_u (или при эксплуатации дорожной одежды в течение времени T_i), МПа; σ_u — амплитуда напряжений, зависящих от величины внешней нагрузки и жесткости дорожной одежды, которые можно определить в любой момент времени i при влажности материала W_i и температуре слоя материала t_{bi} МПа; u — серия приложенных нагрузок, когда $\sigma_u = \text{const}$; t_a — нормативный коэффициент отклонения, принимаемый в соответствии с уровнем проектной надежности; b — показатель степени, характеризующий n -й степени чувствительность реального срока службы покрытия на уровень нагрузки σ/R ; C_v — коэффициент вариации прочности монолитного слоя.

Зная интенсивность движения ТС, пересчитанную согласно их влиянию на дорожную одежду в расчетную (проектную) N_p , можно рассчитать число прикладываемых проектных нагрузок $n_p^{(i)}$ в течение i -го периода времени [11]:

$$n_p^{(i)} = N_p \frac{t_i \gamma_i}{\beta_i}, \quad (3)$$

где N_p — интенсивность движения расчетных (проектных) автомобилей, ед./сут.; t_i — продолжительность i -го периода времени, в днях; β_i — коэффициент, оценивающий возможное отклонение движения колес автомобиля от наиболее вероятного места (распределенный по нормальному закону); γ_i — коэффициент сезонных колебаний интенсивности движения транспортных средств.

Потери прочности материала верхних монолитных слоев, приходящиеся на первые годы эксплуатации дорожного покрытия, по модели накопления повреждений [10] рассчитываются следующим образом:

$$R_i = R_0 \left(1 - \sum \frac{n_p^{(i)}}{N_i} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad \text{МПа}, \quad (4)$$

где R_0 — прочность материала в начале эксплуатации покрытия, МПа.

В результате анализа уменьшения прочности покрытия в течение нескольких лет его эксплуатации T формулу (4) можно записать в следующем виде:

$$R_i = R_0 \left(1 - T \sum \frac{n_p^{(i)}}{N_i} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad \text{МПа}. \quad (5)$$

Показатель R_i является остаточным ресурсом прочности материала, если период эксплуатации покрытия составляет $T + \sum t_i / 365$.

Зная показатель R_i , в каждый момент времени можно рассчитать остаточную циклическую долговечность материала с учетом расчетного (проектного) периода года [10]:

$$N_i = \left(\frac{R_i}{\sigma_0} \right)^n \frac{1}{t_i}, \quad (6)$$

где σ_0 — напряжения растяжения, появляющиеся в расчетный период времени в монолитных слоях дорожной одежды, МПа.

При использовании формулы (5) срок службы монолитных слоев дорожной одежды до разрушения T_f можно определить так:

$$T_f \approx \sum_i \frac{N_i}{n_p^{(i)}}, \text{ годы.} \quad (7)$$

Учитывая тот факт, что срок службы дорожного покрытия можно рассчитать в зависимости от интенсивности движения расчетных автомобилей, а также учитывая изменчивость интенсивности движения в течение сезонов года, можно принять, что расчетная сезонная интенсивность движения является допустимой интенсивностью движения. Практика эксплуатации дорог свидетельствует о том, что в большинстве случаев расчетная допустимая и фактическая интенсивности движения не совпадают. Причин такого явления много, и чаще всего их трудно определить — начиная с ошибок, допускаемых при проектировании, расчете и конструировании дорожных одежд, а также при устройстве автомобильных дорог, и заканчивая непрогнозируемыми изменениями в составе потока транспортных средств в связи с изменениями в структуре потребностей региона, что, в свою очередь, зависит от политических, экономических и других отношений в регионе. Поэтому точно прогнозировать фактическую интенсивность движения на будущее очень трудно.

Средств, выделяемых на уход за дорогами отдельных регионов (уездов) страны, обычно не хватает, а порядок финансирования не всегда благоприятствует поддержанию дорожной сети в должном состоянии, поэтому очень важно, чтобы эксплуатационное состояние дорог поддерживалось в течение всего нормативного срока, т. е. срока их службы, регламентированного нормативными документами.

В случае недостаточного финансирования требуемое эксплуатационное состояние дорог можно поддерживать следующими мерами:

- ограничить (в случае необходимости) интенсивность движения грузовых ТС;
 - не ограничивая интенсивности движения ТС, уменьшить их допустимые осевые нагрузки.
- Если прочность дорожной одежды определенного участка дороги такова, что, при ин-

тенсивности движения расчетных автомобилей по дороге N_p , дорожная одежда может соответствующим образом функционировать определенное время T_f , то для того, чтобы продлить срок ее службы на этом участке без ремонта на срок ΔT_f , интенсивность движения расчетных автомобилей следует уменьшить на величину ΔN_p . По формуле (7) можно рассчитать, что срок службы (межремонтный срок) дорожной одежды увеличится и станет следующим:

$$T_f = \sum_i \frac{N_i}{n_p^{(i)} - \Delta n_p^{(i)}} = \sum_i \frac{N_i}{k_i n_p^{(i)}}, \text{ годы,} \quad (8)$$

где $\Delta n_p^{(i)}$ — число прироста ($-\Delta n_p^{(i)}$ — убытка) нагрузок в i -й период времени:

$$k_i = 1 - \frac{\Delta n_p^{(i)}}{n_p^{(i)}} = 1 - \frac{\Delta N_p^{(i)}}{N_p}, \quad (9)$$

где k_i — параметр двухслойной дорожной одежды в i -й период времени.

Предположим, что ограничить интенсивность движения необходимо в неблагоприятные j -е периоды года. Тогда в другие периоды приложенных нагрузок $\Delta n_p^{(u)} = 0$, а коэффициент $k_i = 1$ и формула (8) примет следующий вид:

$$T_f = \sum_j \frac{1}{1 - \frac{\Delta N_p^{(j)}}{N_p}} \cdot \frac{N_j}{n_p^{(j)}} + \sum_{i-j} \frac{N_{i-j}}{n_p^{(i-j)}}, \text{ годы,} \quad (10)$$

где N_p — интенсивность движения расчетных автомобилей на дороге, ед./сут.

Если интенсивность движения в неблагоприятный период времени ограничить на постоянную величину ΔN_p , то зависимость (10) можно представить в упрощенном виде:

$$T_f = \frac{1}{1 - \frac{\Delta N_p}{N_p}} \cdot \sum_j \frac{N_j}{n_p^{(j)}} + \sum_{i-j} \frac{N_{i-j}}{n_p^{(i-j)}}, \text{ годы.} \quad (11)$$

Величину ΔN_p можно рассчитать так:

$$\Delta N_p = A N_p, \text{ ед./сут,} \quad (12)$$

$$A = 1 - \frac{1}{\left(T_f + \Delta T - \sum_{i-j} \frac{N_{i-j}}{n_p^{(i-j)}} \right) \sum_j \frac{n_p^{(j)}}{N_j}}, \quad (13)$$

где A — расчетный коэффициент слоев дорожной одежды [10].

Чтобы осевая нагрузка ТС не превышала допустимых значений, практически легче орга-

низывать контроль осевых нагрузок, а не ограничение интенсивности движения ТС. Пересчитать интенсивность движения потока ТС в интенсивность движения расчетных автомобилей можно так [10]:

$$N_p = f_j \sum_{m=1}^n N_m S_{m\Sigma}, \text{ ед./сут}, \quad (14)$$

где f_j – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним; n – общее число ТС (различных моделей) в транспортном потоке, ед.; N_m – число поездок ТС m -й модели в течение суток (в обоих направлениях), ед.; $S_{m\Sigma}$ – суммарный коэффициент воздействия ТС m -й модели на дорожное покрытие (приводя к расчетной нагрузке Q_p):

$$S_{m\Sigma} = \sum_{k=1}^l \left(\frac{Q_{mk}^{\text{экв}}}{Q_p} \right)^{4.4}, \quad (15)$$

где $Q_{mk}^{\text{экв}}$ – эквивалентная нагрузка k -й оси колес ТС m -й модели, МПа.

Приравняв формулу (12) к (14) и (15), можно получить ограничение величины $Q_{mk}^{\text{экв}}$, при условии

$$\Delta N_p \geq A f_j \sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^l N_m \left(\frac{Q_{mk}^{\text{экв}}}{Q_p} \right)^{4.4}, \text{ ед.} \quad (16)$$

Очевидно, что ограничение осевой нагрузки прежде всего применимо к ТТС.

По разности между фактической и допустимой интенсивностью движения в расчетный период времени можно установить число сверхнормативных нагрузок ΔN_p , чье движение следует контролировать или ограничивать:

$$\Delta N_p = N_f - N_p, \text{ ед./сут}, \quad (17)$$

где N_f – фактическая интенсивность движения расчетных автомобилей, ед./сут.; N_p – допустимая интенсивность движения расчетных автомобилей, при которой дорожная одежда будет служить в течение всего требуемого (нормативного) срока, ед./сут.

Зависимости (1–17) являются дополнением к математической модели, составленной для оценки воздействия ТТС на процесс разрушения покрытий [11] с учетом усталости материалов монолитных слоев дорожных одежд.

С целью определения воздействия ТС на главную эксплуатационную характеристику покрытий – их ровность были осуществлены экспериментальные исследования асфальтобетонных покрытий автомагистралей Литвы. На 60 элемен-

тарных участках асфальтобетонных покрытий автомагистралей длиной 30–50 м были определены следующие характеристики: ровность, степень разрушения и срок службы (продолжительность функционирования) покрытия. На основе результатов проведенных исследований была установлена корреляционная зависимость (со стандартизированными коэффициентами регрессии) ровности асфальтобетонных покрытий от различных факторов:

$$Y = 0,0508 T_f + 0,04571 D_y + 0,02996 D_t + 0,00674 D_z, \quad (18)$$

(значение коэффициента корреляции $R = 0,81$), Y – ровность участков покрытий, измеренная 4-метровой рейкой, мм; T_f – срок службы покрытия, годы; D_y , D_t , D_z – показатели степени разрушения участков покрытий, вызванного соответственно усталостью материала покрытий (усталостные трещины) D_y , быстрым промерзанием (температурные трещины) D_t и эрозией (коррозией) участков покрытий (эрозионное разрушение) D_z , выраженные в процентах от площади исследуемых участков покрытий.

Стандартизированные коэффициенты корреляционной зависимости (18) свидетельствуют о воздействии проанализированных факторов на ровность покрытий (рис. 1).

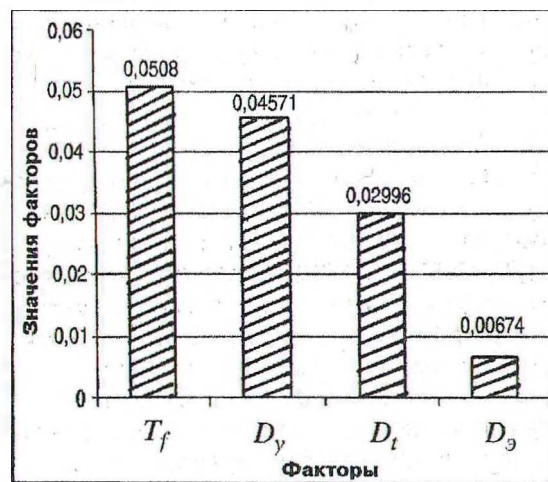


Рис. 1. Воздействие различных факторов на ровность асфальтобетонных покрытий автомагистралей

Представленные результаты (формула (18) и рис. 1) свидетельствуют о том, что наибольшее воздействие на ровность покрытий автомагистралей оказывает усталостное разрушение, образующееся из-за воздействия на покрытия нагрузок ТТС (значение стандартизированного коэффициента регрессии при воздействии фактора D_y – 0,04571), так как продолжительность функционирования T_f , оказывающая наибольшее воздействие на ровность покрытий (значение стандартизированного коэффициента регрессии при воздействии фактора T_f – 0,0508), выражает

обобщенное воздействие многих факторов. Воздействие на ровность покрытий других факторов D_1 и D_2 , выражающих влияние на дорожные одежды показателей климата, меньше (значения стандартизированных коэффициентов регрессии соответственно 0,02996 и 0,00674).

Большую часть регрессии ровности покрытия составляет регрессия его ровности из-за воздействия ТТС. Регрессия ровности покрытия с увеличением его срока службы значительно увеличивается, так как с течением времени прочность дорожной одежды (из-за воздействия ТТС) сильно уменьшается: в течение первых 10 лет работы дорожной одежды ($T_f = 10$ годам) регрессия ровности покрытия ΔY_{IRI} в среднем составляет $\Delta Y_{IRI} = 0,05$ м/км в год, в течение периода с $T_f = 10$ годам до $T_f = 18$ годам $\Delta Y_{IRI} = 0,825$ м/км в год, а в течение периода с $T_f = 18$ годам до $T_f = 28$ годам $\Delta Y_{IRI} = 0,13$ м/км в год (рис. 2 и 3).

Другие проведенные нами исследования свидетельствуют о том (рис. 2 и 3), что с увеличением срока службы дорожных покрытий T_f от $T_f = 0$ до $T_f = 18-28$ годам ровность покрытий по международному индексу ровности IRI Y_{IRI} ухудшается от $Y_{IRI} = 0,9-1,1$ м/км до $Y_{IRI} = 2,1-3,5$ м/км.

Приведенные данные убедительно свидетельствуют о том, что с течением времени, из-за воздействия ТТС, регрессия ровности асфальтобетонных покрытий автомагистралей начинает значительно увеличиваться, поэтому если не вводить ограничения движения ТТС или их осевых нагрузок, следует своевременно усилить дорожную одежду путем устройства нового слоя асфальтобетонного покрытия.

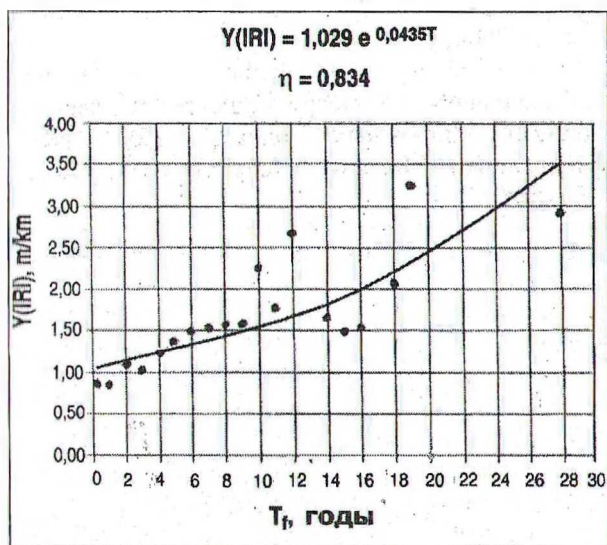


Рис. 2. Взаимосвязь средних значений ($n = 25-30$) срока службы участков покрытий T_f и их ровности Y_{IRI} для автомагистрали А1 Вильнюс – Каунас – Клайпеда (данные 2004 г., $\Sigma n = 513$)

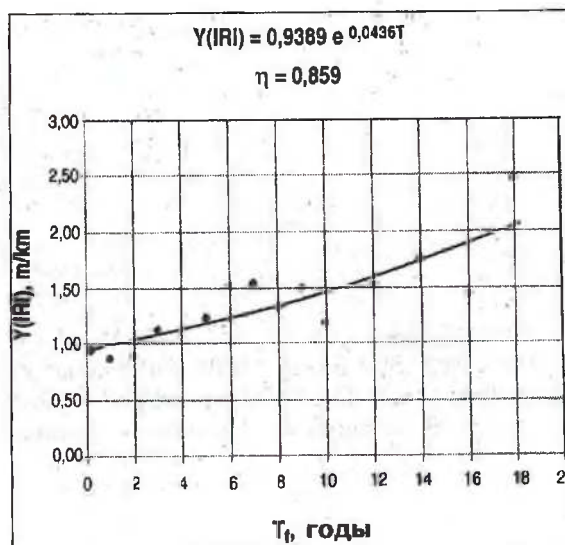


Рис. 3. Взаимосвязь средних значений ($n = 20-25$) срока службы участков покрытий T_f и его ровности Y_{IRI} для автомагистрали А2 Вильнюс – Паневежис (данные 2004 г., $\Sigma n = 308$)

3. Выводы и рекомендации.

1. Намечается тенденция при осуществлении международных перевозок или перевозок на большие расстояния применять ТТС большой грузоподъемности. Это позволяет уменьшить парк автомобилей, их эксплуатационные расходы, для перевозок применять стандартные контейнеры, уменьшить расход топлива. Однако воздействие нагрузок ТТС на дорожные покрытия ускоряет их разрушение, особенно, если несущая способность покрытий недостаточна. Экономический эффект от применения ТТС не компенсирует затрат на ремонт дорог и уход за ними.

2. На основе результатов анализа сезонного ограничения массы ТТС предложены превентивные меры поддержания в требуемом состоянии дорожных одежд: контроль осевых нагрузок, давления воздуха в покрышках и скорости движения ТТС. Одновременное применение указанных мер в неблагоприятные периоды года позволит избежать преждевременного разрушения монолитных слоев дорожных одежд.

3. В странах Евросоюза допустимые осевые нагрузки ТТС превышают 100 кН, поэтому при осуществлении международных транзитных перевозок автомобильные дороги Литвы воспринимают большое разрушительное воздействие. При недостаточной прочности дорожных одежд, недостатке средств на усиление покрытий, а также отсутствии возможности ограничивать потоки движения ТС по другим дорогам одной из наиболее эффективных и приемлемых мер по сохранению дорожных покрытий автомобильных дорог и поддержанию их в хорошем эксплуатационном состоянии является создание и

введение в действие системы налогов за проезд ТТС по дорогам, компенсирующих ущерб, наносимый движением тяжеловесных автомобилей.

4. Экспериментальные исследования асфальтобетонных покрытий автомагистралей Литвы показали, что наибольшее воздействие на ровность покрытий оказывает их усталостное разрушение, образующееся при воздействии нагрузок ТТС. С течением времени из-за этого воздействия значительно ухудшается ровность асфальтобетонных покрытий. Если не вводить ограничения на движение ТТС или на их осевые нагрузки, необходимо своевременно (пока дорожная одежда не потеряла несущую способность) усилить дорожную одежду путем устройства нового слоя асфальтобетонного покрытия.

Литература

1. Rübensam J., Schulze J. Changes in long service life of pavements according to long time observations (Ableitung von Verhaltensfunktionen für Strassenzustandsmerkmale aus Langzeitbeobachtungen). *Strasse+Autobahn*, 1995 (46), No 4, p. 219–228 (in German).
2. Klinghammer S., Huber Th., Nagel M. Study of methods to improve measures ensuring long term functioning of roads (Methodenstudie zur Verbesserung des Prognoseinstrumentariums für die langfristige Rhaltung der Bundesfernstrassen). *Forsch: Strassenbau und Strassenverkehrstechn.*, 1997, p. 1–61 (in German).
3. Rwebangira T., Rutherford M.S., Mahoney J., Hicks R.G. Development of spring restriction for local roads. *Journal Transp. Res. Rec.*, 1987, No 1128, p. 42–52.
4. Apestin V.K., Dudakov A.I., Strizevskij A.M. Main restrictions on seasonal traffic and evaluation of losses that occur due to heavy weight vehicle traffic on roads (Основные принципы ограни-

чения движения и оценки ущерба от проезда по дорогам тяжеловесных транспортных средств). *Research paper: SE „Rosdormii“*, 1996, No 8, p. 81–92 (in Russian).

5. Lill R.A. Geometric Design for large trucks – an overview of the issues from the perspective of the American Trucking Association. *Transp. Res. Rec.*, 1986, No 1052, p. 6–9.

6. Vasiljev J.M., Agafoncev V.P., Isajev V.C. Road pavement constructions with passes from reinforced materials (Дорожные одежды с основаниями из укрепленных материалов). Moscow: Transport, 1989, p. 191 (in Russian).

7. Krinin D.P. Course of road works (Курс дорожного дела). Moscow/Leningrad: State publisher, 1930, p. 920 (in Russian).

8. Examining spring thaw road restrictions. *EXCAV. Contract*, 1988, No 82, p. 29–30.

9. Collection of standard requirements for maintenance of road and street condition of the Ukrainian State vehicle Inspectorate under the Ministry of Interior (Збірник нормативних документів по службі нагляду за станом автомобільних доріг та вулиць Державтоінспекції МВС України, ГУ ДАІ МВС України). Kiev: Journal „Raduga“ (3 parts), 1997, part 2, p. 597; part 3, p. 407 (in Ukrainian).

10. Butkevicius S., Petkevicius K. Rational service life of solid layers in flexible road pavement construction and main principles that determine it. In: *The 8th International conference „Modern Building Materials, Structures and Techniques“ Selected Papers*, May 19–21, 2004, Vilnius. Vilnius: Technika, 2004, p. 945–950.

11. Construction and calculations for flexible road pavements (Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд; Под ред. Н. Н. Иванова). Moscow: Transport, 1973, p. 328 (in Russian).