

УДК 625.042.3

В. В. Б е л я к о в, Ю. И. М о л е в,
У. Ш. В а х и д о в

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Рассмотрен один из аспектов взаимодействия колеса с полотном пути, а именно влияние интенсивности воздействия колесных движителей на температуру зимней дороги. Полученные зависимости позволяют более рационально выбирать технологию уборки дороги, так как от этого параметра зависят и интенсивность работы химических реагентов и механическая прочность межкристаллических связей снега и льда.

Содержание автомобильных дорог в зимний период — это сложное технологическое мероприятие, на которое в центральных районах России расходуется до 70 % средств, выделяемых на текущий ремонт и содержание дорог. Одним из факторов, непосредственно влияющим на стоимость зимнего содержания дороги, является температура дороги. От температуры зависят прочностные и адгезионные свойства льда и снега, объем плавления снега под действием движителей транспортных средств, а также скорость работы антигололедных реагентов. Поэтому повышение степени прогнозируемости изменения температуры поверхности дороги позволит более правильно выбрать технологию уборки и значительно снизить затраты на содержание дорог.

Плавление снега под действием нагретых колес транспортных средств имеет свои особенности, к которым относятся, во-первых, зависимость температуры шины от скорости движения [1], во-вторых, зависимости изменения температуры шины от высоты снежного покрова и опорной поверхности движения. Энергия, подводимая колесами транспортных средств, передается к поверхности дороги дискретно от каждого колеса. Во время движения часть энергии, затрачиваемой на деформацию резинокордной оболочки колеса, на циклическое сжатие резины протектора, на проскальзывание элементов протектора шины по опорной поверхности, а также на различные деформации полотна пути, переходит в тепловую работу. Согласно данным работы [2], часть указанных сопротивлений является постоянной, а часть — переменной. Невозможно найти двух одинаковых колес даже на одной машине, а при расчете теплового воздействия на дорогу потока

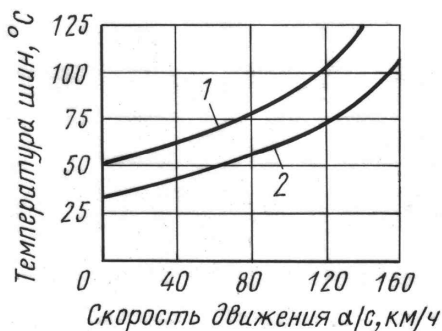


Рис. 1. Влияние скорости движения автомобилей на температуру шин:

1 и 2 — давление воздуха в шинах 0,15 и 0,25 МПа

транспортных средств строгое решение данной задачи является вообще невозможным, поэтому для дальнейших расчетов воспользуемся данными по тепловой нагрузке шин, приведенными в работе [1] (рис. 1).

Исходя из уравнений, приведенных в работе [2], единственной величиной, зависящей от скорости движения транспортных средств, является проскальзывание элементов протектора шины по опорной поверхности:

$$A_{шз} = 8\pi^2 r_0 p_{ш} \varphi_P \left\{ (r_c - r_0) (2\sqrt{2r_{пр}(r_c - r_0)} - 0,5b_{пр}) + \frac{b_{пр}^3 - 16 [2r_{пр}(r_c - r_0)]^{1,5}}{48r_{пр}} \right\}. \quad (1)$$

Заменяя величину $r_c - r_0$ на sr_0 для усредненного колеса легкового автомобиля, получим

$$A_{шз} = 200\varphi \{ (0,08s^{1,5} - 0,1) \}. \quad (2)$$

Количество теплоты A , переданное в процессе теплопроводности за время t через площадку S , определяется законом Фурье: $A = -\frac{dt}{da} ST$. Здесь a — коэффициент теплопроводности, величина его зависит от свойств проводящего теплоту вещества. Отрицательный знак указывает на то, что направление потока теплоты противоположно градиенту температуры dt/da . Закон Фурье применим для описания теплопроводности газов, жидкостей и твердых тел, различие будет только в коэффициентах теплопроводности a .

Исходя из данных, приведенных на рис. 1, а также из выражений (1) и (2) получим эмпирическую зависимость перевода величины проскальзывания колеса в температуру поверхности шины:

$$t_{ш} = t_{возд} + \frac{(\aleph_1 + \aleph_2 s^{1,5})\varphi}{a_1 s_1 + a_2 s_2 + a_3 s_3}, \quad (3)$$

где a_1, a_2, a_3 — коэффициенты теплоотдачи на границах раздела “шина–дорога”, “шина–воздух” и “шина–снежный покров”, а s_1, s_2, s_3 — соответственно поверхности контакта между шиной и дорогой, воздухом и снежным покровом, \aleph — эмпирические коэффициенты. Следует отметить, что величины коэффициентов теплоотдачи,

особенно те, в которых бóльшая часть энергии передается за счет конвекции, зависят от многих факторов: температур поверхностей и окружающего воздуха; скорости движения воздуха; теплопроводности, вязкости, плотности и теплоемкости воздуха (в свою очередь, также зависящих от температуры среды); конфигурации и состояния поверхностей и их геометрических размеров. Коэффициенты теплоотдачи конвекцией можно найти, решая систему дифференциальных уравнений Фурье-Кирхгофа, Навье-Стокса, сплошности (непрерывности), а также решая дифференциальное уравнение теплообмена, описывающее процесс теплоотдачи на границах тела, с прибавлением краевых условий (геометрических, характеризующих форму и размеры тела, в котором протекает процесс теплопередачи; физических условий, характеризующих физические свойства среды и тела; граничных условий, характеризующих протекание процесса теплопередачи на границах тела; временных условий, характеризующих протекание процесса во времени). Это возможно лишь в некоторых частных случаях при использовании ряда упрощений, причем полученные результаты не всегда согласуются с опытными. Поэтому изучение конвективного теплообмена осуществлялось, как правило, экспериментальным путем. Недостаток чисто экспериментального изучения какого-либо физического явления заключается в ограниченной ценности его результатов, так как применимы лишь к частному явлению. Это чрезвычайно усложняет эксперимент, заставляя опытным путем проверять зависимость данного явления от ряда факторов, а некоторые явления зависят от многих переменных. В таких случаях используют теорию подобия, позволяющую в известной степени обобщить полученные опытные результаты и распространить их на целую группу подобных явлений. Такие системы характеризуются безразмерными комплексами, составленными из характеризующих явление величин, сохраняющими одно и то же численное значение. Эти величины носят название *инвариантов* или *критериев подобия* и обозначаются символами, состоящими из первых букв фамилий ученых, которые их ввели в употребление или вообще работали в данной области. При определении критериев теплового подобия для передачи конвекцией теплоты в движущейся среде используется дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье-Кирхгофа совместно с граничным уравнением теплообмена. На основе уравнения подобия процессов определяются соотношения между постоянными подобия, из которых путем подстановки определяются критерии теплового подобия. Если исследуется теплоотдача в потоке движущейся среды, то кроме теплового подобия, должны быть соблюдены условия гидромеханического подобия. Критерии гидромеханического подобия выделяются из дифференциального уравнения движения несжимаемой вязкой жидкости

Навье–Стокса, а для характеристики условия теплопередачи между твердым телом и средой используют инвариант Нуссельта, который содержит в себе искомые величины: — коэффициент теплоотдачи a_2 , коэффициент теплопроводности среды λ_B , равный 0,0244 Вт/м·К и определяющий размер $2R_{\text{кол}}$, характеризующий собой геометрическое подобие:

$$\text{Nu} = \lambda_B 2R_{\text{кол}} / a_B. \quad (4)$$

Критериальное уравнение теплопередачи конвекцией строится по типу: $\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Gr}, \text{Pr})$. Здесь Nu содержит в себе искомую величину a и является неопределяющим критерием, тогда как критерии Re — Рейнольдса, Gr — Грасгофа, Pr — Прандтля являются определяющими. Для газов одинаковой атомности и, в частности, для воздуха, когда $\text{Pr} = \text{const}$, будем иметь $\text{Nu} = F(\text{Re}, \text{Gr})$. А при вынужденном турбулентном движении воздуха, что имеет место при движении колес автомобиля при обтекании потоком воздуха шин, когда естественной конвекцией можно пренебречь, выпадает число Грасгофа: $\text{Nu} = F(\text{Re})$. Значение критической скорости, при которой происходит переход от ламинарного режима течения воздуха к турбулентному, соответствующее числу Рейнольдса $\text{Re} = 2200$, определяется как

$$v_{\text{кр}} = \frac{2200\nu}{2R_{\text{кол}}}, \quad (5)$$

где ν — кинематическая вязкость воздуха, равная $17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Критическое значение скорости, получаемое по уравнению (5), равняется 0,1 м/с, что гораздо ниже реальных скоростей движения машины, поэтому для всех расчетов будем принимать течение воздуха вокруг колеса турбулентным. Для такого способа передачи теплоты выражение критерия Нуссельта примет вид

$$\text{Nu} = 0,216\lambda_1\lambda_2 \left(\frac{v_A 2R_{\text{кол}}}{\nu} \right)^{0,6},$$

откуда

$$a_2 = 0,216\lambda_1\lambda_2 \left(\frac{v_A 2R_{\text{кол}}}{\nu} \right)^{0,6} \frac{\lambda_B}{2R_{RJK}} = 6,025v_A^{0,6}, \quad (6)$$

где λ_1 и λ_2 — поправочные коэффициенты, учитывающие направление воздушного потока по отношению к оси вращения колеса и на разницу ветрового давления в разных точках шины. Следует отметить, что скорость обдувания воздухом различных участков шины не одинакова. У шины размерностью 175/70 R 13 площадь поверхности составляет $0,7 \text{ м}^2$, из них площадь контакта с недеформируемым основанием (асфальт, бетон, лед, обледенелый снег) составляет $0,015 \text{ м}^2$, а при наличии снежного покрова, поверхность его контакта с колесом составит величину, равную $B_{\text{кол}} R_{\text{кол}} (\alpha_1 - \alpha_2)$, где $\alpha_1 = \arccos(1 - (h_z + h_{\text{сн}}) / R_{\text{кол}})$,

$a_2 = \arccos(1 - h_z/R_{\text{кол}})$. При этом боковая поверхность шины площадью $0,2 \text{ м}^2$ обдувается воздухом, скорость которого равна скорости движения машины. С такой же скоростью обдувается торцовая поверхность шины, расположенная между кузовом и дорогой. Площадь данного участка равняется примерно $0,05 \text{ м}^2$. Остальные участки шины закрыты от внешнего воздействия корпусом и колесной нишей, скорости движения воздуха в которых составляют $50 \dots 75 \%$ максимальной величины. Это позволит для упрощенных расчетов принимать коэффициент теплоотдачи от шины в воздух a_2 , равным $30 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Таким образом, величину a_1 можно принять равной $1,28 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, а a_3 — от $0,3$ до $0,9 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Коэффициент \aleph_1 равняется $21,5(a_1 s_1 + a_2 s_2) = 450$, а \aleph_2 равняется $4300(a_1 s_1 + a_2 s_2) = 90000$. Полученные данные свидетельствуют о том, что только около $0,5 \%$ энергии передается от колеса на дорогу, а $99,5 \%$ энергии передается в воздух. Таким образом, без значительной погрешности расчеты величины энергии, подведенной к поверхности дороги от одного колеса, можно определить из выражения:

$$N_t^1 = a_1 s_1 \frac{(\aleph_1 + \aleph_2 s^{1,5}) \varphi}{a_1 s_1 + a_2 s_2 + a_3 s_3} = \varphi(1 + 200 s^{1,5}). \quad (7)$$

Таким образом, при скорости движения 60 км/ч энергия от одного колеса, передаваемая асфальтовой поверхности дороги, составит $1,1 \text{ Вт}$, а при скорости 90 км/ч — $2,3 \text{ Вт}$. При буксовании на льду величина энергии, передаваемая дороге, составит 20 Вт , а при экстренном торможении на асфальте — 140 Вт . Полученная зависимость полностью подтверждается экспериментальными данными, приведенными в работах [1, 2]. Следует отметить, что в большинстве работ в указанной области рассчитывают тепловой режим в зоне контакта колеса с дорогой при экстренном торможении, непосредственно влияющем на безопасность движения. Согласно данным работы [3], при экстренном торможении по чистому асфальту мощность, передаваемая дороге, составит около 140 Вт , а общая энергия торможения при скорости 90 км/ч (25 м/с) — $87\,500 \text{ кВт}$. С учетом работы в режиме торможения четырех колес суммарная тепловая мощность, выработанная в результате торможения и переданная дороге, составит 560 Вт или $0,5 \%$ общей энергии торможения.

Если в результате торможения температура дороги превысит температуру воздуха, то начнется противоположный процесс — передача теплоты от дороги в атмосферу. Мощность указанного процесса будет определяться выражением

$$N_t^2 = (a_4 s_{\text{дороги}} + a_5 s_{\text{снега}} + a_6 s_{\text{льда}}) \Delta t,$$

где a_4, a_5, a_6 — коэффициенты теплоотдачи между поверхностью дороги и воздухом, снегом и льдом соответственно, $s_{\text{дороги}}$ — чистая поверхность дороги; $s_{\text{снега}}$ — площадь дороги, покрытая снегом; $s_{\text{льда}}$ —

площадь дороги, покрытая льдом, а Δt — разница температур дороги и окружающего воздуха. В указанных случаях основным процессом теплопереноса является конвекция при турбулентном движении воздуха (как от силы ветра, так и под действием транспортных средств); как видно из уравнений (4)–(6), влиянием свойств охлаждаемой поверхности можно пренебречь, а в качестве характерного размера может быть принята ширина дороги. Тогда коэффициент теплоотдачи с поверхности дороги можно определить при помощи следующего уравнения:

$$a_2 = 0,216\lambda_1\lambda_2 \left(\frac{v_{\text{ветра}} B_{\text{дороги}}}{\nu} \right)^{0,6} \frac{\lambda}{B_{\text{дороги}}} = 4,22 \frac{v_{\text{ветра}}^{0,6}}{B_{\text{дороги}}^{0,4}}.$$

Исходя из того, что энергия, подводимая к каждому участку дороги, является дискретной величиной, суммарное время воздействия движителей на единицу ширины дороги может быть записано в следующем виде:

$$N_t^1 = \frac{s_1 I}{B_{\text{дороги}} 900 v_A} \varphi(1 + 200s^{1,5}), \quad (8)$$

где I — суммарная интенсивность дорожного движения, имеющая размерность авт./ч, 900 — переводной коэффициент, равный 4/3600. Исходя из полученных выражений, можно найти температуру, на которую прогреется дорога под действием колес транспортных средств:

$$\Delta t = \frac{\left(\frac{\partial_1 I}{900 v_A} \varphi(1 + 200s^{1,5}) \right) B_{\text{кол}}}{\left(4,22 \frac{v_{\text{ветра}}^{0,6}}{B_{\text{дороги}}^{0,4}} \right) B_{\text{дороги}} \partial_1} = \frac{I \varphi(1 + 200s^{1,5})}{B_{\text{дороги}}^{0,6} 19000 v_A v_{\text{ветра}}^{0,6}}. \quad (9)$$

Полученные данные свидетельствуют о том, что при скорости движения потока 90 км/ч, при интенсивности движения по двухполосной дороге шириной 7 м, равной 5000 авт./ч, при скорости ветра 1 м/с изменение температуры дороги может составить 0,005 град, что несущественно для дальнейших расчетов. При движении транспортных средств не по асфальтобетонной поверхности, а по снежно-ледовому накату тепловая энергия вообще не передается дороге, а расходуется на локальный нагрев и плавление снега и льда. Согласно уравнениям (3), (7) и (9) энергия, передаваемая одним колесом заснеженной поверхности дороги, составит от 0,002 Вт·с для скорости 60 км/ч до 0,0025 Вт·с для скорости 90 км/ч. Теплота распространяется в поверхностном слое трущейся пары (от пятен контакта) в глубь контактирующих тел в виде температурных волн, амплитуда которых с увеличением глубины уменьшается. Чем выше скорость скольжения, тем на меньшую глубину распространяются температурные волны. Вместе с тем, при возрастании шага неровностей на трущейся поверхности

глубина распространения температурных волн в поверхностном слое увеличивается. В результате воздействия колеса на дорогу часть снега расплавляется, поэтому температурное поле за границу раздела двух фаз не распространяется.

Величина солнечной радиации $\Theta_{\text{рад}}$, действующей на поверхность дороги, влияет на температурный режим дороги. Она зависит от географической широты, времени года и суток, углов наклона поверхности, состояния растительности, облачности и прозрачности атмосферы в данной местности. Солнечная радиация делится на коротковолновую, излучаемую солнцем, и длинноволновую, излучаемую атмосферой. Согласно многочисленным исследованиям, приведенным в справочнике “Снег” [4], их суммарные значения в течение года изменяются по синусоидальной зависимости:

$$\Theta_{\text{рад}} = U_1 + U_2 \sin \omega T_1,$$

где U_1 — интенсивность солнечной радиации в дни весеннего и осеннего равноденствия, составляющая $600 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$ на географической широте, 50° ; $525 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$ — на широте 60° ; $300 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$ — на широте 70° ; $130 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$ — на широте 80° и $50 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$ — на Северном и Южном полюсах; U_2 — коэффициент изменения интенсивности солнечной радиации, равный ее величине на полюсах; T_1 — время, прошедшее со дня осеннего равноденствия до рассматриваемого дня; ω — частота колебания солнечной активности за год, равная $2\pi/365$ или $0,017$.

Изменение температуры дороги от прямых солнечных лучей, согласно выражению (9), может быть найдено из следующего соотношения:

$$\begin{aligned} \Delta t = & \left\{ \left(0,1 \left(1 - \frac{s_{\text{кол}}}{s_{\text{дор}}} \right) + 0,3 \frac{s_{\text{кол}}}{s_{\text{дор}}} \right) (550 + 50 \sin 0,017 T_1) \times \right. \\ & \times \cos \left(0,26 \left[12 - \frac{T_2}{2} \right] \right) - \cos \left(0,26 \left[12 + \frac{T_2}{2} \right] \right) \left. \right\} \times \\ & \times \left(4,22 \frac{v_{\text{ветра}}^{0,6}}{B_{\text{дороги}}^{0,4}} \right)^{-1}. \quad (10) \end{aligned}$$

Результаты расчетов, полученные при использовании уравнения (10), свидетельствуют о том, что в марте на свободной ото льда и снега асфальтовой дороге шириной 7 м при скорости ветра 2 м/с изменение температуры дороги может составить 14 град. Таким образом, можно констатировать, что температура поверхности дороги определяется исключительно климатическими факторами, а не транспортным потоком.

Так, скорость изменения температуры поверхности дороги под действием солнечных лучей определится из выражения

$$v_t^A = \left\{ \left(0,1 \left(1 - \frac{s_{\text{кол}}}{s_{\text{дор}}} \right) + 0,3 \frac{s_{\text{кол}}}{s_{\text{дор}}} \right) (550 + 50 \sin 0,017 T_1) \times \right. \\ \left. \times \cos \left(0,26 \left[12 - \frac{T_2}{2} \right] \right) - \cos \left(0,26 \left[12 + \frac{T_2}{2} \right] \right) \right\} \times \\ \times \left(\left(4,22 \frac{v_{\text{встр}}^{0,6}}{B_{\text{дороги}}^{0,4}} \right) dT_2 \right)^{-1},$$

а скорость изменения температуры дороги под действием изменяемой температуры воздуха — из выражения

$$v_t^B = 4,22 \frac{v_{\text{встр}}^{0,6}}{B_{\text{дороги}}^{0,4}} dT.$$

Анализ данных, получаемых с дорожных метеостанций в реальном режиме времени [5], показывает, что в 70 % случаев температура поверхности дороги оказывается ниже, чем температура воздуха. Данный факт может быть объяснен только процессами испарения влаги с поверхности дороги. Изменение температуры фазового перехода (кипения, плавления и др.) при бесконечно малом изменении давления определяется уравнением Клапейрона–Клаузиуса [6]:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{L}{t(V_2 - V_1)},$$

где dP/dt — значение производной от давления по температуре; L — удельная теплота испарения, равная $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг; $(V_2 - V_1)$ — изменение объема 1 моля вещества при переходе его из первой фазы во вторую. Объем одного и того же количества вещества в газообразном состоянии значительно больше, чем в жидком, поэтому величиной V_1 в расчетах обычно пренебрегают, а величину V_2 определяют при помощи уравнения Клайперона–Менделеева:

$$V_2 = \frac{Rt}{P_n},$$

Учитывая, что в указанной формуле разница давлений возникает только за счет обдувания охлаждаемой поверхности, и считая, что поверхность дороги не влияет на изменение скорости ветра, получим зависимость изменения температуры дороги вследствие испарения воды:

$$dt = \frac{t^2 R v_{\text{встр}}^2 \rho_{\text{воздуха}}}{P_n L 2g} W, \quad (11)$$

где W — коэффициент, учитывающий влажность дороги.

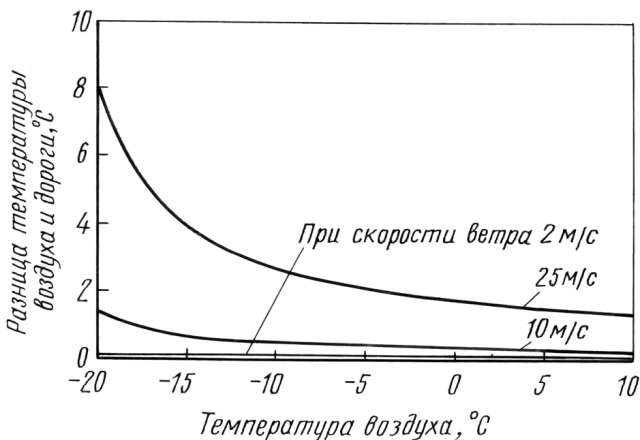


Рис. 2. Зависимость изменения разницы температур воздуха и дороги в результате испарения влаги с поверхности дороги

Результаты расчетов по формуле (11) показаны на рис. 2.

Наличие в выражении (11) таких трудно учитываемых параметров, как скорость ветра, влажность воздуха и поверхности дороги диктует необходимость выявить максимальные значения изменения скорости (при скорости ветра 25 м/с) и минимальные значения (при скорости ветра 0 м/с). Во втором случае, вместо величины a_2 , получаемой из расчета конвективного теплообмена, будем принимать ее значения из условий теплопроводности, т.е. 0,0244 Вт/м·К. На рис. 3 приведены данные, полученные из результатов работы [3], из которых следует, что скорость испарения влаги с поверхности дороги в зимний период может составлять от 0,004 до 0,03 мм/ч (или от 0,004 кг/м²·ч до 0,03 кг/м²·ч), что приводит к возникновению отрицательного теплового потока, мощностью от 9,2 кДж/м²·ч до 70·10³ кДж/м²·ч (для удельной теплоты парообразования воды, равной 2,26 мДж/кг). Согласно выражению (9) при скорости ветра более 10 м/с (а именно при таких значениях происходит испарение основного объема воды с поверхности дороги) коэффициент температуропроводности поверхности доро-

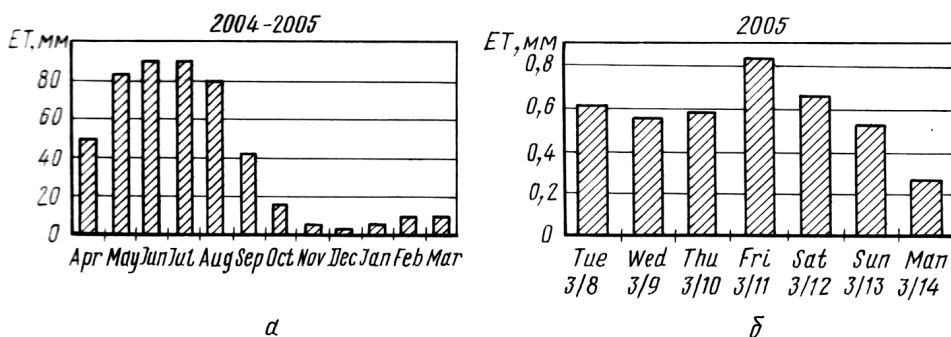


Рис. 3. Зависимость изменения испарения воды с поверхности дороги в течение года (а) и недели (б)

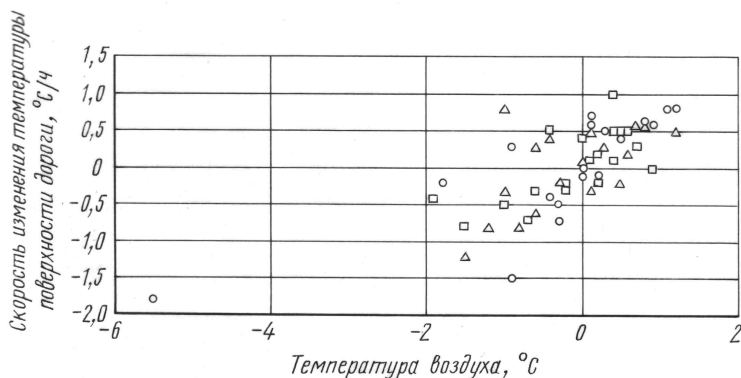


Рис. 4. Экспериментальные значения зависимости скорости изменения температуры поверхности дороги от разницы с температурой воздуха:

для сухих дорог — \circ ; для мокрых дорог — Δ ; покрытых ледяным накатом — \square

ги составит от 10 до 20 м²/с. Тогда, исходя из выражения (8) разница между температурами поверхности дороги и окружающего воздуха может быть найдена из выражения

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{испарения}}}{3600\lambda} = (0,25 \dots 2)^\circ\text{C}. \quad (12)$$

Исходя из принятых данных получим, что скорость изменения температуры поверхности дороги под действием солнечных лучей может меняться от 0 до 10 град./ч, под действием температуры воздуха — от 0 до 9 град./ч, а под действием процессов испарения до 2 град.

Средние же значения были получены при анализе данных из работы [5]. Так, на рис. 4 приведено изменение температуры поверхности дорог при различных погодных условиях. Из рисунка видно, что наиболее вероятные значения скорости изменения температуры поверхности дороги не превышают 1 град./ч. Максимальная скорость изменения температуры поверхности дороги при разнице температур в 5,5 град. была зафиксирована на отметке 1,75 град./ч. Наличие значений скоростей изменения температур, направленных на увеличение разницы с температурой воздуха, обусловлено действием прямых солнечных лучей (скорость изменения температуры до 0,8 град./ч) или охлаждением за счет обдувания мокрой поверхности дороги ветром (скорость изменения температуры до 0,4 град./ч). Анализ экспериментальных данных позволил выделить три основных температурных режима поверхности дорог. Первое, это сухая асфальтобетонная поверхность. Разница температур между температурой воздуха и температурой покрытия обуславливается только разницей в скорости изменения температур. Наличие на дороге сырости или снежного наката приводит к тому, что до полного высыхания дороги между температурой воздуха и температурой поверхности дороги сохраняется разница в 1...2 град. (а в

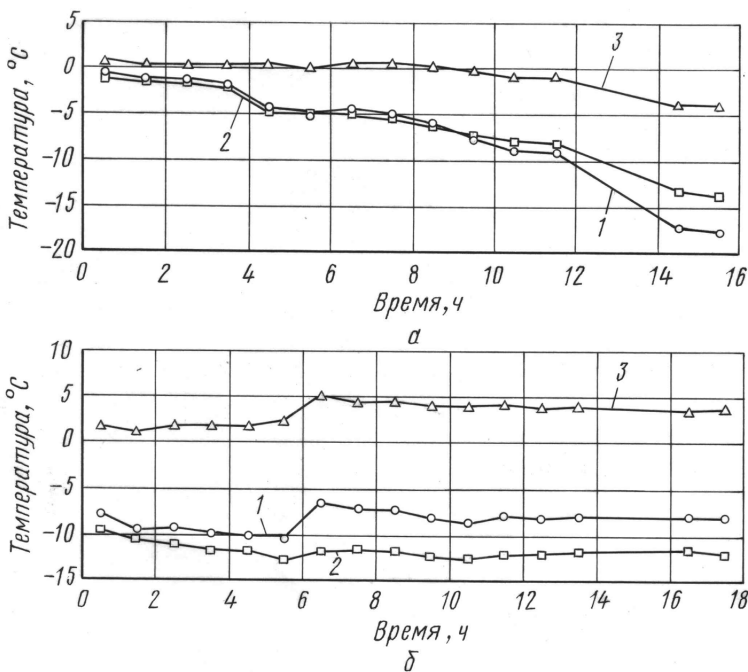


Рис. 5. Пример изменения температурного режима дороги:

с сухой асфальтобетонной поверхностью (а); со снежно-ледовыми накатами (б); 1, 2, 3 – скорость ветра 2, 10 и 25 м/с

некоторых случаях до 5 град.), обусловленная испарением воды под действием ветра.

С другой стороны, выпадающий снег прекращает испарение с поверхности дороги, в результате до того момента, как он будет раскатыт движителями транспортных средств, температура поверхности дороги становится равной температуре воздуха (при условии, что температура выпадающего снега равна температуре воздуха).

Примеры изменения температуры дороги показаны на рис. 5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н о в а я книга о шинах / К. Бакфиш, Д. Хайнц. – М.: ООО “Издательство Астрель”: ООО “Издательство АСТ”, 2003. – 303 с.
2. П р о х о д и м о с т ь автомобиля: Учеб. пособие / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, В.Н. Кравец. – Н. Новгород: 1996. – 200 с.
3. <http://www.meteocenter.net/weather/>
4. С н е г Справочник / Под ред. Д.М. Грея и Д.Х. Мэйла. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 751 с.
5. <http://www.finnra.fi/alk/english/frames/tiesaa-frame.html>
6. Г о л у б е в В. Н., Г у с е в а Е. В. Особенности тепло- и массопереноса в стратифицированной снежной толще // Снежный покров в горах и лавины. – М.: Наука, 1987. – С. 62–74.

Статья поступила в редакцию 29.11.2005



Владимир Викторович Беляков родился в 1955 г., окончил Горьковский политехнический институт им. А.А. Жданова в 1977 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры “Автомобили и тракторы” Нижегородского технического университета, заместитель проректора по научной работе Нижегородского технического университета. Автор более 160 научных работ в области автомобиле- и тракторостроения.

V.V. Belyakov (b. 1955) graduated from the Gorkiy Polytechnic Institute n.a. A.A. Zhdanov in 1977. D. Sc. (Eng.), professor of “Automobiles and Tractors” department of the Nizhniy Novgorod

Technical University, deputy vice-rector on scientific work of the Nizhniy Novgorod Technical University. Author of more than 160 publications in the field of automobile and tractor engineering.



Юрий Игоревич Молев родился в 1967 г., окончил Горьковский политехнический институт им. А.А. Жданова в 1989 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Строительные и дорожные машины” Нижегородского технического университета. Автор более 100 научных работ, включая три монографии и три учебных пособия, в области автомобиле- и тракторостроения.

Yu.I. Molev (b. 1967) graduated from the Gorkiy Polytechnic Institute n.a. A.A. Zhdanov in 1989. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Construction and Road Machines” department of the Nizhniy Novgorod Technical University. Author of more than 100 publications including 3 monographs, 3 textbooks, 2 inventions in the field of automobile and tractor engineering.

Умар Шахидович Вахидов родился в 1971 г., окончил Нижегородский государственный технический университет в 1990 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Строительные и дорожные машины” Нижегородского государственного технического университета. Автор более 30 научных работ в области исследования влияния фазовых переходов в снежном покрове на его взаимодействие с движителями транспортных средств и рабочими органами дорожных машин.

U.Sh. Vakhidov (b. 1971) graduated from Nizhniy Novgorod State Technical University in 1990. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Construction and Road Machines” department of the Nizhniy Novgorod State Technical University. Author of more than 30 publications in the field of investigation of influence of phase transitions in snow cover on its interaction with transport aids movers and working parts of road machines.

Вниманию читателей журнала “Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана”

В связи с изменением условий распространения журнала с 2007 г., для получения авторских номеров в редакции журнала следует оформить заявку на необходимое число экземпляров. Журналы можно купить за наличный расчет в киоске издательства или, (для иногородних авторов) оформив банковский платеж в отделе распространения издательства МГТУ им. Н.Э. Баумана (тел. (495)-263-60-45; e-mail: press@bmstu.ru).