УДК 625.8.042

ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ ТОЛЩИНЫ РЫХЛЫХ СНЕЖНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Обушак Егор Викторович, магистр,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, egor.obushak@icloud.com
Ретюнский Артемий Алексеевич, аспирант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, reeeeart@gmail.com.
Яркин Сергей Васильевич, аспирант**,**
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru,
Горячев Михаил Геннадьевич, д-р техн. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru.
Мишина Дарья Юрьевна, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru.

Аннотация. Обоснование требований к нормативным показателям уровня зимнего содержания автомобильных дорог позволяет решать проблемы зимней эксплуатации за счёт правильной организации работ: обеспеченности дорожно-эксплуатационной службы кадровым составом, парком уборочной техники, производственными предприятиями. Основным нормативным показателем, на который следует ориентироваться при организации зимней эксплуатации, является допустимая толщина неуплотнённых снежных отложений на покрытии проезжей части. При этом установленная ГОСТ 33181-2014 толщина слоя рыхлого снега зависит только от уровня зимнего содержания и не учитывает интенсивность движения. При этом для дороги конкретной категории интенсивность движения может варьироваться в широком диапазоне, даже выходя за нормативные пределы интенсивности для данной категории. В статье предлагается технико-экономический подход для определения допустимой толщины слоя рыхлого снега, а также показано, что её оптимальное значение может отличаться от стандартизированного. Разработанная методика учитывает себестоимость перевозок, потери от дорожно-транспортных происшествий и затраты на очистку проезжей части от снега.

Ключевые слова: автомобильная дорога, зимнее содержание, снежные отложения.

JUSTIFICATION OF THE MAXIMUM PERMISSIBLE THICKNESS OF LOOSE SNOW DEPOSITS ON THE CARRIAGEWAY OF HIGHWAYS

Obushak Egor V., master,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, egor.obushak@icloud.com
Retunskiy Artemy A., postgraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, reeeeart@gmail.com.
Yarkin Sergei V., postgraduate
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.
Goryachev Mikhail G., Dr. Sc., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.
Mishina Daria Yu., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.

Abstract. Substantiation of requirements to the normative indicators of the level of winter maintenance of highways, allows solving the problems of winter operation due to the correct organization of work: provision of road maintenance service with personnel, a park of cleaning equipment, manufacturing enterprises. The main normative indicator that must be used for planning winter operation is the maximum permissible thickness of uncompacted snow sediments on the pavement of the roadway. At the same time, the periodicity of measures established by state standard 58862-2020 for the treatment of the pavement with de-icing materials and snow removal are insufficient to meet the requirements for the permissible thickness of loose snow sediments. This circumstance negatively effects on the organization of winter maintenance. The article proposes a technical and economic approach to determine the value of this indicator, and shows that its optimal value may differ from the standardized one. The developed methodology takes into account the cost of transportation, losses from road accidents and the cost of clearing the roadway from snow.

Key words: highway, winter maintenance, snow sediments.

Введение

Нормативные требования к автомобильным дорогам на таких этапах её жизненного цикла, как проектирование и эксплуатация, должны быть обоснованы с учётом фундаментальных закономерностей между элементами системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» и главной её внутренней связью «условия движения – транспортные потоки» [4]. Ведущую роль в модели «условия движения – транспортные потоки»

занимает интенсивность движения. От интенсивности движения зависят многие решения по геометрическим параметрам и обустройству автомобильных дорог, сроки службы конструкций дорожных одежд и покрытий, периодичность мероприятий по содержанию. В руководящих отраслевых документах СССР, а потом и Российской Федерации требования к показателям зимнего содержания также были дифференцированы с учётом интенсивности движения [1, 3]. Однако в ГОСТ 33181-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания (Переиздание с Поправкой)» показатели уровня зимнего содержания, в том числе допустимая толщина слоя рыхлого снега на покрытии проезжей части не увязаны с интенсивностью движения. Имеющаяся градация норм в отрыве от насыщенности дорог транспортным потоком малоэффективна. На дорогах, прежде всего высоких категорий, диапазон интенсивности движения довольно широкий. На дорогах регионального и межмуниципального значения интенсивность движения часто превышает установленную интенсивность для данной категории. Поэтому при разработке требований к допустимой толщине слоя рыхлого снега на покрытии проезжей части нужно исходить из оценки влияния данного вида зимней скользкости на условия движения транспортного потока.

Основная часть

Величина допустимой толщины рыхлых снежных отложений на проезжей части автомобильной дороги определяется минимальными приведёнными затратами на содержание автомобильной дороги. Приведённые затраты складываются из трёх стоимостных величин:

- себестоимость перевозок при данной толщине снежных отложений;
- экономические потери от ДТП по причине наличия определённой толщины снежных отложений;

- стоимость содержания проезжей части при допустимой

толщине свежевыпавших снежных отложений.

Оценка стоимости перевозок выполнена исходя из удорожания перевозки одной тонны груза за счет увеличения расхода топлива. При движении с заданной скоростью, по мере увеличении толщины рыхлых снежных отложений от 0 до 25 мм с шагом 5 мм, возрастает коэффициент сопротивления качению, напрямую влияющий на расход горючего [5].

Так, например, приведённые транспортные затраты при различной толщине снежных отложений, для скорости движения 60 км/ч и стоимости дизельного топлива 52 руб. представлены в табл. 1. Расчёт выполнялся для автомобильной дороги II категории от г. Унеча до населённого пункта Борщово в Брянской области исходя из формулы мощности, которую должен развить автомобиль для поддержания принятой скорости:

$$N_e = \frac{P_k}{3600\eta_{\text{тр}}} = \frac{V}{3600\eta_{\text{тр}}}\left(G_a\psi + \frac{К_в F V^2}{13}\right), \quad (1)$$

где ψ – приведённый коэффициент дорожного сопротивления;

G_a – сила тяжести автомобиля, Н;

$\eta_{тр}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии, для грузовых автомобилей;

V – скорость движения автомобиля, км/ч;

$К_в$ – коэффициент лобового сопротивления воздуха;

F – площадь лобового сопротивления, м^2.

Для определения расхода топлива применена следующая формула:

$$Q_s = \frac{100 g_e Ne}{V\gamma_т}, \quad (2)$$

где g_e – удельный расход топлива, г/кВт·ч;

N_e – мощность двигателя, кВт;

$\gamma_т$ – плотность топлива г/см^3.

Для вычисления ущерба от ДТП, случающихся при наличии свежевыпавших снежных отложений, необходимо определить скорость транспортного потока для выбранных толщин рыхлого снега, согласно графику изменения скорости транспортного потока, при различной толщине снежных отложений (рис 1).

Таблица 1

Расчёт приведённых затрат при различной толщине снежных отложений для автомобильной дороги II категории от г. Унеча до населённого пункта Борщово в Брянской области

Толщина снежных отложений h, мм	Расход топлива для перевозки 1 т груза на 1 км, л	Стоимость перевозки 1 т груза на 1 км, руб.	Приведённые транспортные затраты
0	0,024	1,25	26 848 750 ₽
5	0,031	1,61	34 581 190 ₽
10	0,039	2,03	43 602 370 ₽
15	0,050	2,60	55 845 400 ₽
20	0,055	2,86	61 429 940 ₽
25	0,065	3,38	72 599 020 ₽

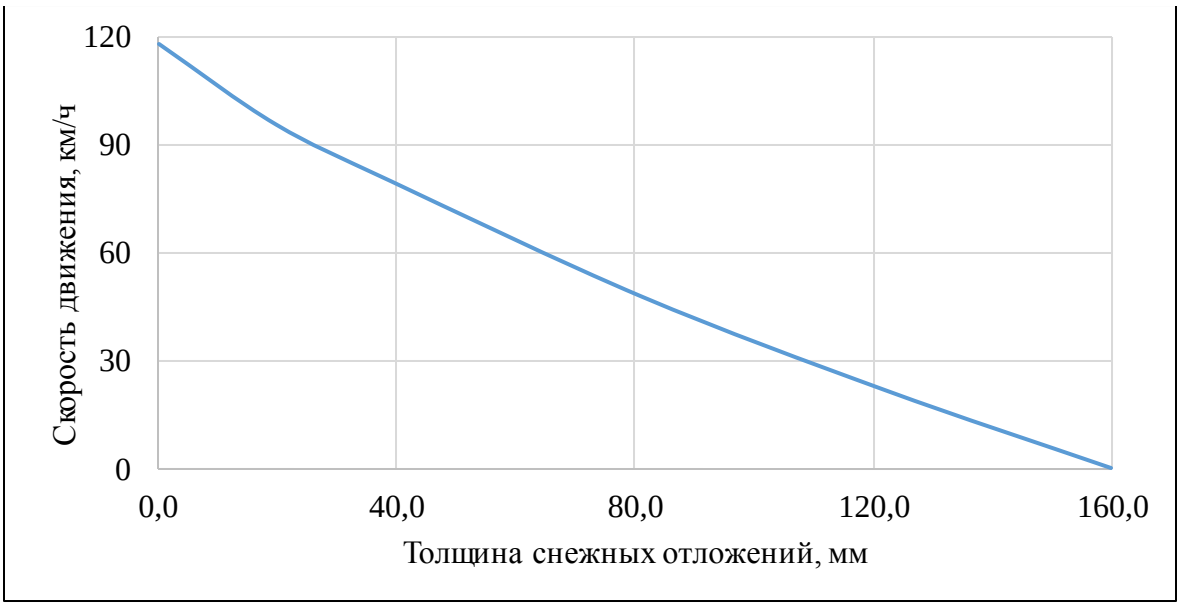

Рис. 1. Изменение скорости транспортного потока на автомагистрали при различной толщине рыхлых снежных отложений

Для определения возникающей, в таких условиях движения, аварийности, допустимо использовать усреднённый показатель аварийности в дневное и ночное время, зависящий от скорости движения, выведенный Дэвидом Салмоном на основании статистических данных аварийности на автомагистралях США [6] (рис. 2).

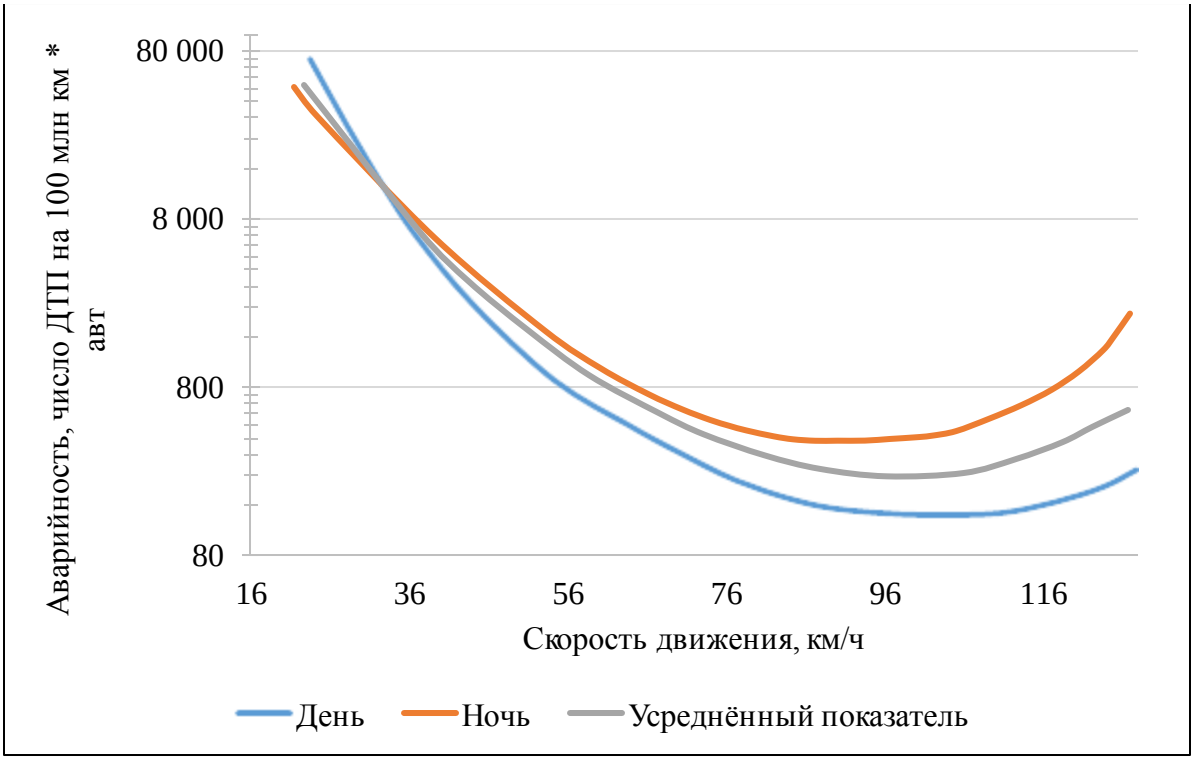

Рис. 2. Зависимость аварийности от скорости движения по автомагистрали

Количество ДТП за один год, исходя из усреднённого показателя аварийности, согласно графику (рис. 2), определяется зависимостью (3):

$$N_{\text{ДТП}} = A * L * N_{\text{сут}} * T_{\text{снег}} , \quad (3)$$

где A – аварийность, ДТП на 100 млн. км*авт;

L – протяженность автомобильной дороги, км;

$N_{\text{сут}}$ – суточную интенсивность движения, авт/сут;

$T_{\text{снег}}$ – годовую продолжительность снегопадов, сут.

Используя методику оценки социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий Р-03112199-0502-00 [2], был установлен экономический ущерб от ДТП при различной толщине рыхлых снежных отложений (табл. 2).

Таблица 2

Экономический ущерб от ДТП при различной толщине рыхлых снежных отложений для автомобильной дороги II категории от г. Унеча до населённого пункта Борщово в Брянской области

Толщина снежных отложений, мм	Аварийность, 100 млн км*авт.	Количество ДТП	Экономический ущерб, млн руб.
0	480	92,16	223,97
5	400	76,80	186,64
10	350	67,20	163,31
15	270	51,84	125,98
20	320	61,44	149,31
25	400	76,80	186,64

Для определения количества механизированных очисток покрытия проезжей части необходимо сначала определить допустимое время снегонакопления при различных критических толщинах рыхлых снежных отложений во время снегопада расчётной интенсивности:

$$t_k = \frac{h_{доп} \times \gamma_с}{i_p \times \gamma_в}, \text{ ч}, \quad (4)$$

где $h_{доп}$ – максимально допустимая толщина слоя рыхлого снега на поверхности проезжей части, мм;

$\gamma_с$ – плотность свежевыпавшего снега, г/см^3;

$\gamma_в$ – плотность воды, г/см^3;

i_p – интенсивность расчётного снегопада, мм /ч.

В свою очередь интенсивность расчётного снегопада определяется зависимостью:

$$i_p = \frac{q_k}{n \times t_{\text{сн}}}, \text{ мм/ч}, \quad (5)$$

где q_k – количество осадков за рассматриваемый месяц зимнего периода, мм;

n – количество дней со снегопадами в каждый месяц;

$t_{\text{сн}}$ – средняя продолжительность снегопада, ч.

Стоимость содержания рассматриваемой в примере автомобильной дороги при различной толщине рыхлых снежных отложений сведена в табл. 3 и рассчитана, используя временные сметные нормы и расценки работ по зимнему содержанию автомобильных дорог. При расчёте также учтено необходимое количество патрульных очисток проезжей части:

$$M = \frac{\text{Т}}{t_k}, \quad (6)$$

где Т – годовая продолжительность осадков в зимний период, ч;

t_k – допустимое время осадконакопления при расчётной интенсивности снегопада, ч.

Таблица 3

Стоимость содержания автомобильной дороги при различной допустимой толщине снежных отложений

Допустимая толщина рыхлых снежных отложений, мм	Допустимое время снегонакопления, ч	Необходимое количество очисток	Стоимость содержания, руб.
5	2,50	365,60	203 988 902,43
10	5,00	182,80	101 994 451,22
15	7,50	121,87	67 996 300,81
20	10,00	91,40	51 275 898,97
25	12,50	73,12	41 243 657,87

На основании полученных в ходе расчёта результатов построена диаграмма (рис. 3), согласно которой целесообразно принять на рассматриваемой дороге допустимую толщину снежных отложений 15 мм, в то время как нормативной документацией для дороги той же категории предусмотрена толщина 10 мм.

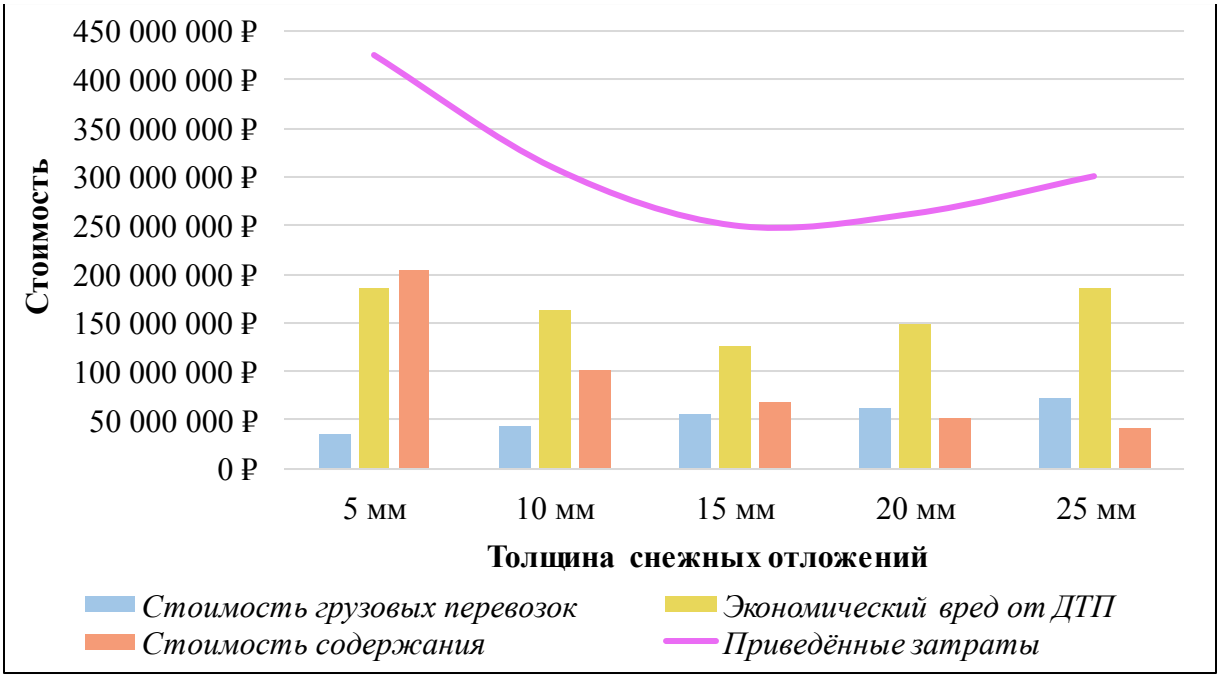

Рис. 3. Диаграмма приведённых затрат на содержание автомобильной дороги II категории от г. Унеча до населённого пункта Борщово в Брянской области

Заключение

Предложена методика технико-экономического обоснования предельно допустимой толщины рыхлых снежных отложений на проезжей части автомобильных дорог, учитывающая влияние толщины рыхлых снежных отложений на условия движения транспортных средств из предположения о соответствии состояния дорог нормативным требованиям по транспортно-эксплуатационным показателям, потери от дорожно-транспортных происшествий и затраты на работу снегоуборочной техники. Кроме того, предложенный подход позволяет обосновать требуемое

количество механизированных циклов для уборки свежевыпавшего снега для планирования затрат на данный вид дорожных работ.

Расчёты на примере автомобильной дороги II категории показали, что в ряде случаев нормативные требования к уровню зимнего содержания в отношении допустимой толщины слоя рыхлого снега не являются универсальными и должны быть уточнены на стадии разработки проекта зимнего содержания автомобильной дороги.

Список литературы

1. ВСН 24-88. Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог / Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1989. – 198 с.
2. Методика оценки и расчёта нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий. Р-03112199-0502-00. – М., 2001.
3. Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования (взамен ВСН 24-88) / Минтранс России. М., 2004.
4. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера дорожника / А.П. Васильев В.И. Баловнёв, М.Б. Корсунский и др.; под ред. А.П. Васильева. – М.: Транспорт, 1989. – 287 с.
5. Мелисаров, В.М. Тяговый и топливно-экономический расчёт автомобиля: методические указания / В.М. Мелисаров, А.В. Брусенков, П.П. Беспалько. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 28 с.
6. Solomon, D. Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle / D. Solomon // Washington D. C.: Gov. Pr. Off., 1964.

References

1. Tekhnicheskie pravila remonta i soderzhaniya avtomobil'nyh dorog, VSN 24-88 (Technical rules for the repair and maintenance of highways, VSN 24-88), Moscow, Transport, 1989, 198 p.
2. Metodika ocenki i rascheta normativov social'no-ekonomicheskogo ushcherba ot dorozhno-transportnyh proisshestvij. R-03112199-0502-00 (Methodology for assessing and calculating the standards of socio-economic damage from road accidents. P-03112199-0502-00), Moscow, 2001.

3. Metodicheskie rekomendacii po remontu i soderzhaniyu avtomobil'nyh dorog obshchego pol'zovaniya (Guidelines for the repair and maintenance of public roads), Moscow, Mintrans Russia, 2004.

4. Vasil'ev A.P., Balovnyov V.I., Korsunskij M.B., etc., *Remont i soderzhanie avtomobil'nyh dorog: Spravochnik inzhenera dorozhnika* (Repair and maintenance of highways: Handbook of a road engineer), Moscow, Transport, 1987, 287 p.

5. Melisarov V.M., Brusenkov A.V., Bespal'ko P.P., Tyagovyj i toplivno-ekonomicheskij raschyot avtomobilya (Traction and fuel-economic calculation of the car), Tambov, Pb. House of Tambov gov. tech. university, 2009, 28 p/

6. Solomon D., Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle, Washington D. C., Gov. Pr. Off., 1964.

Рецензент: В.В. Ушаков, д-р техн.наук, проф., МАДИ