

Матвеев Сергей Александрович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительная механика и геотехнологии», ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: dfsibadi@mail.ru).

Мартынов Евгений Анатольевич (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительная механика и геотехнологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: asp_evlg@mail.ru).

Литвинов Николай Николаевич (Россия, г. Омск) – старший преподаватель кафедры «Строительная механика и геотехнологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: niklitvinov_23i@mail.ru).

Matveev Sergey Aleksandrovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, profes-

sor of the department «Construction mechanics and geotechnologies», The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: dfsibadi@mail.ru).

Martynov Evgeny Anatolyevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor of the department "Construction mechanics and geotechnologies", The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: asp_evlg@mail.ru).

Litvinov Nikolay Nikolaevich (Russian Federation, Omsk) – the senior teacher of the department «Construction mechanics and geotechnologies», The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: niklitvinov_23i@mail.ru).

УДК 625.71.8

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ОТРЯДА ДОРОЖНЫХ МАШИН ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НА РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

И.В. Слепцов

ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. Приведены уравнения регрессии скорости автомобильного потока от рабочей скорости отряда дорожных машин и часовой интенсивности движения в зоне производства работ на магистральных улицах города. Рабочую скорость отрядов дорожных машин предложено принимать не менее средней скорости движения транспортного потока с учетом состояния поверхности покрытия, интенсивности и состава движения. Представлена последовательность расчета оптимального состава отряда дорожных машин для дорожно-эксплуатационной организации, содержащей городскую улично-дорожную сеть.

Ключевые слова: отряд дорожных машин, зимнее содержание, транспортный поток.

Введение

В процессе производства работ по зимнему содержанию городских улиц и дорог (ГУДС) дорожные машины вносят в транспортный поток ряд существенных помех большими габаритами и низкой рабочей скоростью: повышается плотность, снижается скорость движения транспортного потока, возникают заторы.

При разработке вопросов механизации зимнего содержания не учитывается влияние параметров как отдельных, так и отрядов дорожных машин на режимы движения автомобильного потока в зоне проведения работ. Это объясняется тем, что существующие организационно-технологические решения зимнего содержания ГУДС [1] сформированы на концептуальных подходах 80-х годов прошлого столетия, когда в большинстве городов

движение транспортных средств осуществлялось в условиях свободного потока.

В работе [2] автором предложена имитационная модель обгона дорожной техники легковыми автомобилями в условиях пониженных сцепных качеств покрытия и ограниченной видимости при зимнем содержании внегородских дорог. Автор [2] приходит к выводу, что при патрульной снегоочистке снижение пропускной способности достигает 32 %, а при обработке дорог противогололедными материалами – 2...4 %.

Однако такие результаты не применимы к городским улицам. Это объясняется следующими факторами: плотность движения на улично-дорожной сети значительно выше, чем на внегородских дорогах; разрешенные скорости для транспортных средств составляют 60 и 90 соответственно. В работе [2] не

ставилась задача снижения негативного влияния отрядов дорожных машин на режимы движения транспортных потоков.

Состав отрядов дорожных машин с учетом влияния на режимы движения транспортных потоков

Режимы движения транспортных потоков (ТП) на городской улично-дорожной сети зависят от дорожных условий. Совокупность дорожных условий состоит из постоянных и переменных характеристик. К постоянным отнесены параметры и характеристики, которые не меняются в процессе эксплуатации улиц и дорог или изменяются редко (при реконструкции или капитальном ремонте). К переменным (временным или сезонным) относятся параметры и характеристики улиц и дорог, изменяющиеся в течение года под

воздействием неблагоприятных метеорологических явлений и транспортных средств.

Наиболее часто воздействие неблагоприятных климатических явлений на дорожные условия проявляется в зимний период. Это выражается в снижении коэффициента сцепления на покрытии, эффективной ширины проезжей части и видимости.

Для обеспечения нормальных условий движения транспортного потока в зимний период дорожно-эксплуатационные службы (ДЭС) выполняют следующие виды работ: распределение противогололёдных материалов, сгребание и подметание снежной массы, погрузка и вывоз снежных валов.

В таблице 1 представлены виды нарушений режимов движения автомобилей при выполнении технологических операций по зимнему содержанию ГУДС.

Таблица 1 – Виды нарушений режимов движения автомобилей при выполнении технологических операций по зимнему содержанию ГУДС

Технологическая операция	Влияние на режим движения ТП	Вид нарушения режима движения автомобилей
распределение противогололёдных материалов	влияет	снижение скорости автомобилей в результате нахождения на проезжей части медленно движущейся одиночной дорожной машины или отряда машин
снегоочистка проезжей части	влияет	снижение скорости автомобилей в результате нахождения на проезжей части медленно движущегося отряда дорожных машин
погрузка и вывоз снежных валов	влияет	снижение скорости автомобилей в результате закрытия полосы движения

Таким образом, наличие в составе городского транспортного потока дорожных машин, выполняющих технологические операции со скоростями, ограниченных с одной стороны техническими характеристиками самих машин и технологическими требованиями, с другой стороны скоростью транспортного потока, будет влиять на скоростной режим всего транспортного потока.

На сегодняшний день существует большое количество производителей, предоставляющих дорожные машины с различными техническими характеристиками и стоимостью. Производители дают возможность заказчику компоновать основные системы машины для получения требуемых технических характеристик. Например: выбор типа шасси, мощности двигателя, типа привода технологического оборудования, числа и вида технологического оборудования, его характеристик,

способа управления навесным оборудованием и т.д.

Оптимально подобранные характеристики дорожной машины не гарантирует качественного взаимодействия отдельной машины в составе отряда и парка машин в целом.

Работы по зимнему содержанию должны выполняться таким образом, чтобы в минимальной степени создавать помехи городскому движению, т.е. с рабочими скоростями близкими к скорости транспортного потока. Однако следует учитывать, что при наличии зимней скользкости на дорожном покрытии средние скорости транспортного потока снижаются. В таблице 2 приведены коэффициенты сцепления и средние скорости движения транспортного потока при различных характерных состояниях поверхности дорожного покрытия в зимний период.

Таблица 2 – Коэффициенты сцепления и средние скорости движения транспортного потока при характерных состояниях поверхности дорожного покрытия в зимний период на 6-ти полосной магистральной улице

№ п/п	Состояние покрытия	Коэффициент сцепления при скорости 20 км/ч	Скорость транспортного потока, км/ч
1	слой рыхлого снега h=5...10 мм	0,30	50
2	слой рыхлого снега h=10...20 мм	0,20	43
3	слой рыхлого снега h=20...40 мм	0,15	30
4	гололедица	0,15	30

Расчеты по определению средней скорости транспортного потока выполнены по зависимостям, приведенных в [3,4,5], для часовой интенсивности 700 авт./ч на полосу, с долей легковых автомобилей в транспортном потоке свыше 85%:

$$\bar{V} = V_{\phi \max} - t\sigma_{V_{\phi}} - \Delta V, \quad (1)$$

$$V_{\phi \max} = \frac{m \cdot \varphi_{20} - f_{20} \pm i}{m \cdot \beta_{\varphi}} + 20, \quad (2)$$

$$\Delta V = \alpha_u \cdot N, \quad (3)$$

где \bar{V} - средняя скорость движения транспортного потока с учетом состояния поверхности покрытия, интенсивности и состава движения, км/ч; $V_{\phi \max}$ - максимально возможная скорость движения автомобилей из условия сцепления колеса автомобиля с покрытием и с учетом сопротивления качению, км/ч; t - функция доверительной вероятности или гарантийный коэффициент; $\sigma_{V_{\phi}}$ - среднее квадратическое отклонение скорости движения автомобилей в свободных условиях, км/ч; ΔV - снижение скорости автомобилей под воздействием интенсивности и состава транспортного потока, км/ч; m - коэффициент сцепного веса; φ_{20} - коэффициент сцепления при скорости до 20 км/ч; β_{φ} - коэффициент, учитывающий снижение сцепных качеств с увеличением скорости движения; i - продольный уклон, д.ед.; f_{20} - коэффициент сопротивления качению при скорости до 20 км/ч; α_u - коэффициент, учитывающий влияние интенсивности движения; N - часовая интенсивность движения автомобилей в одном направлении, авт/ч.

Таким образом, рабочая скорость отряда дорожных машин должна быть не меньше средней скорости транспортного потока, приведенной в таблице 2.

Автором были выполнены экспериментальные исследования режимов движения автомобильного потока в зоне производства работ по распределению ПГМ, снегоочистке и

удалению снежных валов на магистральных улицах г.Омск. Некоторые результаты исследований приводились в работе [6]. По результатам натурных измерений получены уравнения регрессии скорости автомобильного потока от рабочей скорости отряда дорожных машин и часовой интенсивности движения в зоне производства работ:

- при распределении противогололедных материалов по слою рыхлого снега 10...20 мм:

$$\hat{y}_{ПГМ} = 63,97 + 0,49x_1 - 0,02x_2 - 2,77x_3, \quad (4)$$

- при сгребании и сметании снежной массы:

$$\hat{y}_{оч} = 79,79 + 0,89x_1 - 0,04x_2, \quad (5)$$

- при удалении снежных валов:

$$\hat{y}_{y\partial} = 53,08 - 0,08x_2, \quad (6)$$

где $\hat{y}_{ПГМ}$ - средняя скорость автомобильного потока при распределении противогололедных материалов по слою рыхлого снега, км/ч; $\hat{y}_{оч}$ - средняя скорость автомобильного потока при сгребании и сметании снежной массы с проезжей части, км/ч; $\hat{y}_{y\partial}$ - средняя скорость автомобильного потока в зоне производства работ по удалению снежных валов лаповым погрузчиком, км/ч; x_1 - рабочая скорость отряда дорожных машин, км/ч; x_2 - часовая интенсивность транспортного движения в зоне производства работ в одном направлении, авт./ч; x_3 - число машин в отряде, ед.

Проверка на адекватность коэффициентов регрессии выполнена с использованием t -критерия и путем анализа показателя r (или α). Все коэффициенты уравнения являются значимыми. Расхождение практических и теоретических данных не превышает 9%.

Итак, оптимизация отряда дорожных машин для зимнего содержания ГУДС сводится к подбору рабочей скорости отряда дорожных машин по неравенству:

$$V_{раб} \geq \bar{V}, \quad (7)$$

где $V_{\text{раб}}$ - рабочая скорость отряда дорожных машин, км/ч.

В качестве примера ниже приведена последовательность расчета оптимального состава отряда дорожных машин для дорожно-эксплуатационной организации, содержащей городскую улично-дорожную сеть.

Снегоочистка с применением противогололедных материалов (комплексная технология) основывается на технологической последовательности применения средств механизации с использованием химических реагентов.

Химические реагенты, попадая в снег, образуют растворы. В таком состоянии снежная масса находится в сыпучем состоянии, длительное время не уплотняется под действием колес транспортных средств, не смерзается с покрытием и остается подвижной.

К основным этапам комплексной технологии относятся: выдержка, обработка реагентами, интервал, сгребание и сметание снега и шуги. Технологические режимы данных этапов разработаны в АКХ им. Памфилова [1] и приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные показатели технологического процесса комплексной снегоочистки [1]

Режим	Интенсивность снегопада, мм/ч	Продолжительность этапов, ч				
		выдержка	обработка реагентами	интервал	сгребание и сметание	всего
1	0,5 – 1,0	0,75	1	3	3	7,75
2	1 – 3	0,25	1	-	3	4,25
3	свыше 3	0,25	1	-	1,5	2,75

В зависимости от температуры воздуха и вида применяемого противогололедного реагента, устанавливается норма расхода реагента (таблица 4).

В зависимости от температуры воздуха и вида применяемого противогололедного реагента, устанавливается норма расхода реагента (таблица 4).

Таблица 4 – Нормы расхода противогололедных реагентов

Вид реагента	Ед. изм.	Расход реагента при температурах воздуха, °С				
		от 0 до -4	от -4 до -8	от -8 до -12	от -12 до -16	от -16 до -20
твердый	г/м ²	20-30	30-50	50-60	60-70	70-80
жидкий	мл/м ²	25-45	45-70	70-80	-	-
	г/м ²	30-55	55-85	85-95	-	-

Распределение противогололедных материалов производится дорожными машинами типа ЭД-405ПС и КО-713Н при рабочих скоростях 40 км/ч. Скорость транспортного потока в процессе распределения противогололедных материалов на магистральной улице при рабочей скорости 40 км/ч:

$$\hat{y}_{\text{ПТМ}} = 63,97 + 0,49 \cdot 40 - 0,02 \cdot 2100 - 2,77 \cdot 2 = 36 \text{ км/ч.}$$

Расчет представлен для шестиполосной магистральной улицы с интенсивностью движения 700 авт./ч на одну полосу.

С учетом неравенства (7) рабочая скорость распределения противогололедных материалов из условия снижения негативного влияния на режим движения транспортного потока должна составлять:

$$V_{\text{раб}} \geq 43 \text{ км/ч.}$$

Механизированное сгребание и сметание снежной массы с проезжей части выполняется при рабочей скорости 20...25 км/ч. В процессе сгребания и сметания колонна из пяти снегоочистителей обеспечивает отбрасывание снежной массы в лотковую часть. К недостаткам данной технологии можно отнести рабочую скорость сгребания и сметания. Однако если снегоочистку выполнять только

плужным отвалом, то после прохода остается снежная масса толщиной 1-2 см, что требует заключительной операции сметания. Применяемый метод организации работ по снегоочистке городских улиц и дорог характеризуется однооперационностью (выполнение операций за минимальное количество проходов).

Скорость транспортного потока в процессе снегоочистки магистральных улиц при рабочей скорости 20 км/ч:

$$\hat{y}_{\text{оч}} = 79,79 + 0,89 \cdot 20 - 0,04 \cdot 2100 = 14 \text{ км/ч.}$$

В соответствие с неравенством (7) рабочая скорость сгребания и сметания снежной массы из условия снижения негативного влияния на режим движения транспортного потока должна составлять:

$$V_{\text{раб}} \geq 30 \text{ км/ч.}$$

Последовательность формирования состава отряда дорожных машин для зимнего содержания ГУДС с учетом влияния на режимы движения транспортных потоков имеет семь этапов.

Этап 1. Выбор вида работ.

Этап 2. Выбор технологического маршрута, для которого необходимо сформировать оптимальный отряд машин.

Этап 3. Выбор типа дорожных машин (снегоочистители, распределители ПГМ или КДМ, обеспечивающие выполнение выбранной технологической операции) в соответствии с наличными ресурсами ДЭС.

Этап 4. Расчет числа машин в отряде. Расчет выполняется в зависимости от ширины проезжей части магистральной улицы, входящей в маршрут.

Этап 5. Формирование варианта отряда машин. На данном этапе выполняется перебор множества допустимых вариантов отрядов машин. Из наличного состава машин n , количество вариантов отряда, состоящего из k -машин, будет равняться:

$$\frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (8)$$

Для сокращения числа возможных вариантов принято ограничение по рабочей скорости – разница рабочих скоростей дорожных машин, укомплектованных в отряд, не должна превышать 5 км/ч:

$$V_j^{раб} - V_{j+1}^{раб} \leq |5|, \quad (9)$$

где $V_j^{раб}$, $V_{j+1}^{раб}$ – рабочие скорости, соответственно j -го и $j+1$ -го номера машины в отряде, км/ч; 5 – разница рабочих скоростей, км/ч.

Этап 6. Расчет средней скорости транспортного потока в зоне производства работ сформированным отрядом (4-6).

Этап 7. Выбор структуры отряда, приводящей к экстремуму функционал:

$$\left(\hat{y}_{ПГМ}; \hat{y}_{оч}; \hat{y}_{уд} \right) \rightarrow \max. \quad (10)$$

Заключение

Оценка характера влияния отряда дорожных машин на изменение условий движения в зоне производства работ позволяет подбирать оптимальные рабочие скорости, снижающие затраты в сфере транспорта. Дорожные машины с наибольшей рабочей скоростью не гарантируют наименьшего негативного влияния на режимы транспортных потоков, так как рабочая скорость ограничивается скоростью движения автомобильного потока.

Сложившееся направление совершенствования организации работ и технологии по зимнему содержанию ГУДС в сторону однооперационного подхода имеет недостаток в виде низкой рабочей скорости. Этот фактор определяет требование к городской снегоочистительной технике. Учет средней скорости движения транспортного потока при характерных состояниях поверхности дорожно-

го покрытия в зимний период, степени влияния параметров дорожных машин на режимы транспортного потока позволяет оптимизировать состав дорожных машин, минимизирующий негативное влияние на условия движения автомобильного потока при производстве работ по зимнему содержанию ГУДС.

Библиографический список

1. Рекомендации по технологии уборки проезжей части городских дорог с применением средств комплексной механизации: утв. АКХ им. Памфилова 01.01.1989: введ. в действие с 01.01.1989. – М.: 1989. – 36 с.
2. Гаспарян, А.С. Разработка технологических схем производства работ по зимнему содержанию автомобильных дорог, повышающих безопасность движения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж: 2011. – 162 с.
3. Васильев, А.П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения / А.П. Васильев. – М.: Транспорт, 1986. – 248 с.
4. Лобанов, Е.Н. Пропускная способность автомобильных дорог / Е.Н. Лобанов, В.В. Сильянов и др. – М.: Транспорт, 1970. – 152 с.
5. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог, Ч I: Учебник для вузов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. – М.: Транспорт, 1987. – 368 с.
6. Боброва, Т. В. Моделирование решений по снегоочистке городской улично-дорожной сети в многоагентной системе / Т.В. Боброва, И.В. Слепцов // Вестник СибАДИ. – 2013 – С. 51-57.

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF ROAD MACHINES BRIGADE FOR WINTER MAINTENANCE OF CITY STREETS AND ROADS TAKING INTO ACCOUNT IMPACT ON CONDITIONS TRAFFIC FLOW

I.V. Sleptsov

Abstract. The equations of the regression rate of motor flux on the operating speed of traffic squad cars and watch traffic in the area of works on the main streets of the city. Working units speed road cars invited to take a minimum average speed of traffic flow, taking into account the state of the coating surface, the intensity and composition of traffic. It shows the sequence of calculation of the optimal composition of the detachment of road vehicles for road-maintenance organization, containing the city's road network.

Keywords: group of road cars, winter contents, transport stream.

References

1. Recommendations on cleaning technology carriageway urban road with funds complex mechanization: approved. AKH them. Pamfilova 01.01.1989: entry into force on 01.01.1989. Moscow, 1989. – p.36.
2. Gasparjan A.S. *Razrabotka tehnologicheskikh shem proizvodstva rabot po zimnemu sodержaniju avtomobil'nyh dorog, povyshajushhih bezopasnost' dvizhenija*

pasnost' dvizhenija: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk [The development of technological schemes of production of winter maintenance of roads, enhancing traffic safety: author. dis. cand. tehn. sciences]. Voronezh: 2011. 162 p.

3. Vasil'ev A.P. *Proektirovanie dorog s uchetom vlijanija klimata na uslovija dvizhenija* [Designing roads with the influence of climate on the traffic conditions]. Moscow, Transport, 1986. 248 p.

4. Lobanov E.N., Sil'janov V.V. *Propusknaja sposobnost' avtomobil'nyh dorog* [The capacity of the roads]. Moscow, Transport, 1970. 152 p.

5. Babkov V.F., Andreev O.V. *Proektirovanija avtomobil'nyh dorog* [Road design]. Moscow, Transport, 1987. 368 p.

6. Bobrova T.V., Sleptsov I.V. *Modelirovanie reshenij po snegoochistke gorodskoj ulichno-dorozhnoj*

seti v mnogoagentnoj sisteme [Simulation solutions for snow removing the urban road network in the multi-agent system]. *Vestnik SibADI*, 2013. pp. 51-57.

Слепцов Игорь Викторович (Россия, г. Омск) – аспирант кафедры «Экономика и проектное управление в транспортном строительстве» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sleptsov_igor@mail.ru).

Sleptsov Igor Viktorovich (Russian Federation, Omsk) – the graduate student of "Economy and Project Management in Transport Construction" chair of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: sleptsov_igor@mail.ru).

УДК 625.7

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ

А.В. Смирнов, Е.В. Андреева, В.Ф. Игнатов
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация: Рассмотрены модели загрузки слоев многослойной дорожной конструкции при воздействии подвижной вертикальной нагрузки, а также формы затухающих колебаний. Численным анализом установлены значения динамического прогиба, его скорости и ускорений колебаний, динамических напряжений сжатия – растяжения, являющихся критериями прочности, а также ориентиром для испытаний дорожно-строительных материалов на выносливость.

Ключевые слова: динамический прогиб, скорости и ускорения колебаний, импульсы напряжений.

Введение

Динамические процессы в дорожных конструкциях проезжей части автомагистралей являются естественной их реакцией на кратковременное ударное воздействие колес подвижных транспортных средств. Проявляются процессы в слоях дорожных конструкций в форме напряжений и знакопеременных перемещений (колебаниях). Динамические процессы изучены еще недостаточно, чтобы с их использованием улучшить дорожные конструкции или увеличить срок их службы. В связи с этим в данной статье показаны модели и критерии динамических процессов*.

Постановка задачи, алгоритм и методы решения

Необходимо установить параметры и характеристики динамического процесса, развивающегося в слоистой многослойной системе при горизонтальном движении вертикальной нагрузки.

Многослойная система состоит из m числа плоско-параллельных слоев ($1 \leq j \leq m$).

Каждый слой характеризуется динамическим модулем упругости E_j , плотностью ρ_j коэффициентом Пуассона μ_j , скоростью распространения продольных волн напряжений C_{pj} , коэффициентом затухания напряжений γ_j , толщиной h_j . Нагрузка P распределена по круговой площадке диаметром D , с максимальным удельным давлением q и меняется во времени по закону $\sigma_1 = \frac{4P}{\pi D^2} \cdot \sin\left(\pi \frac{t}{T_0}\right)$. Здесь t время, а $T_0 = \frac{D}{V}$ – время действия нагрузки горизонтально движущейся со скоростью V .

Алгоритм решения

1. Ниже показана схема распределения напряжений сжатия их расчет по плоскостям слоев (формулы с 1 по 8). Предварительно устанавливаются последовательно E_m , $E_{дин.}$, $E_{дин.}$ и $E_{дин.}$ по известным методикам приведения двухслойной системы к однослойной [1,2].

*В подготовке материалов статьи приняла участие Грязнова М.К. – бакалавр ФГБОУ ВПО «СибАДИ»