УДК 656.135

© Р. Р. Сафиуллин, аспирант

© А. Э. Горев, д-р экон. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: safiullin@ya.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-5-190-195

© R. R. Safiullin, post-graduate student

© A. E. Gorev, Dr. Sci. Ec., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: safiullin@ya.ru

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

ABOUT THE METHOD OF OPTIMIZATION IN THE PLANNING OF TRANSPORTATION PROCESS OF HEAVY CARGOES BY ROAD TRANSPORT

Представлен анализ транспортного процесса тяжеловесных грузов автомобильным транспортом в Российской Федерации. Определены критерии, влияющие на эффективность перевозочного процесса, выделены уровни подсистемы «транспорт — транспортная инфраструктура» транспортной системы. Предлагается разработанная методика оптимизации транспортного процесса, учитывающая несущую способность и износ покрытий автомобильных дорог.

Ключевые слова: методика, тяжеловесное автотранспортное средство, вред от проезда, автомобильная дорога, несущая способность, износ покрытий, размер вреда.

This article presents an analysis of the transportation process of heavy goods by road transport in the Russian Federation. As a result of the analysis, the criteria have been identified that affect the efficiency of the transportation process, the levels of the subsystem «transport — transport infrastructure» of the transport system have been revealed. The authors propose using the developed method of optimization of the transport process, taking into account the bearing capacity and wear of road surfaces.

Keywords: method, heavy vehicle, damage from traffic, motor road, carrying capacity, road surface wear, damage size.

Подсистема «транспорт — транспортная инфраструктура» транспортной системы представляет собой модель транспортного процесса, основное внимание в которой уделяется взаимодействию автомобиля через подвеску и колеса с дорожным покрытием. При движении автомобиль воздействует на автомобильную дорогу, в результате чего в дорожном покрытии возникают напряжения, влияющие на его прочность и долговечность.

Анализ причин разрушения дорожного полотна выявил взаимосвязь между движением тяжеловесных грузовых автомобилей и сверхнормативным износом дорожных конструкций. Эта зависимость легла в основу решений, принимаемых Правительством Российской Федерации в последние годы,

особое место в которых занимает обеспечение сохранности автомобильных дорог¹.

Появление новых дорожных сборов, таких как «Платон», увеличение штрафов за нарушение порядка перевозки тяжеловесных грузов (далее — ТГ), изменения Правил перевозки грузов автомобильным транспортом², внедрение автоматизированных систем весогабаритного контроля и увеличение тарифов штрафов за размер вреда, взимаемых при оформлении специального разрешения³, — все это в значительной степени от-

¹ Перечень поручений Президента Российской Федерации по итогам заседания президиума Государственного совета Российской Федерации 8 октября 2014 г.

² Постановление Правительства РФ от 15.04.2011 № 272 «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом» // СПС «КонсультантПлюс».

³ Приказ Министерства транспорта РФ от 24.07.2012 № 258 «Об утверждении порядка выдачи специального разрешения на движение по автомобильным дорогам транспортного средства, осуществляющего перевозки тяжеловесных или крупногабаритных грузов» // СПС «КонсультантПлюс».

разилось на процессе планирования и эффективности грузовых перевозок. В настоящее время получение разрешений на проезд и плата дорожных сборов стали наиболее весомыми критериями при построении логистики тяжеловесных грузов. Размер возмещаемого вреда и время оформления специального разрешения могут превышать 50 % от всех затрат на перевозку ТГ (рис. 1).

Анализ взаимодействия подсистем транспортной системы имеет большое значение при определении эффективности эксплуатации транспорта. При этом в основе методов оптимизации работы автомобильного транспорта лежит выбор оптимального из множества вариантов использования ресурсов грузового автомобиля [1].

Для решения задачи оптимизации эксплуатации автомобильного транспорта, осуществляющего перевозки ТГ, необходимо определить показатель, который будет соответствовать требованиям:

- наибольшее влияние на эффективность перевозки ТГ;
- возможность нахождения наилучшего значения без снижения работы автомобильного транспорта.

До настоящего времени такими показателями были: тип автопоезда, пробег, время простоя под погрузочно-разгрузочными операциями, а также прочие эксплуатационные расходы.

В изменяющихся условиях очевидной стала необходимость разработки новых методов оптимизации перевозочного процесса.

В процессе исследования перевозок ТГ автомобильным транспортом выявлены три уровня перевозочного процесса: федеральный, региональный и локальный. На каждом уровне определены три основных типа автомобильных дорог, в зависимости от разрешенной осевой нагрузки транспортных средств⁴, влияющей на размер вреда, штраф за который взимается в рамках оформления разрешения на перевозку тяжеловесного груза⁵, и причины, влияющие на состояние автомобильных дорог (рис. 2).

На каждом уровне перевозочный процесс оптимизируется по следующим критериям:

- объем транспортной работы в n -й период не должен противоречить сохраняющейся тенденции увеличения перевозок автомобильным транспортом в последующем $(n + 1)$ -м периоде: $P_{тр(n+1)} > P_{тр(n)}$ ($P_{тр(n)}$ не равно 0);
- размер вреда автомобильным дорогам от автотранспортных потоков $R_v < R_{вд} = f(c_p)$ не должен быть больше размера, которые могут создавать АТС, осуществляющие перевозки КТГ,

⁴ Постановление Правительства РФ от 15.04.2011 № 272 «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом» // СПС «КонсультантПлюс».

⁵ Постановление Правительства РФ от 16.11.2009 № 934 «О возмещении вреда, причиняемого транспортными средствами, осуществляющими перевозки тяжеловесных грузов по автомобильным дорогам Российской Федерации» // СПС «КонсультантПлюс».

Рис. 1. Переменные расходы на перевозку ТГ автомобильным транспортом (КТГ — крупногабаритные тяжеловесные грузы)

Рис. 2. Иерархические уровни перевозочного процесса КТГ автомобильным транспортом

превышающих допустимые параметры по осям и общей массе.

Для уровней установлены также общие ограничения: $A_{2i} \in A_{3i}$ и $L_{1k} \in L_{2k}$.

Оптимизационные модели имеют следующий вид.

Уровень 3:

$$P_3 = \sum f(A_{31}, A_{32}, \dots, A_{3n}; W_{31}, W_{32}, \dots, W_{3n});$$

$$R_3 = \sum f(A_{31}, A_{32}, \dots, A_{3n}; r_{31}, r_{32}, \dots, r_{3n}), \quad (1)$$

где A_{3i} — парк i -х АТС; W_{3i} и r_{3i} — соответственно объем транспортной работы и размера вреда одной единицы i -х АТС за календарный период.

Уровень 2:

$$P_2 = L_{2k} \sum f(q_{21}, q_{22}, \dots, q_{2n}; A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2n});$$

$$R_2 = L_{2k} \sum f(g_{21}, g_{22}, \dots, g_{2n}; N_{21}, N_{22}, \dots, N_{2n}), \quad (2)$$

где q_{2i} и g_{2i} — соответственно транспортная работа и размер пробегового вреда i -х АТС КТГ на 1 км k -го участка длиной L_k ; A_{2i} и N_{2i} — число и интенсивность i -х АТС.

Уровень 1:

$$P_1 = \sum f(\omega_{11}, \omega_{12}, \dots, \omega_{1n}; t_{p11}, t_{p12}, \dots, t_{p1n}),$$

$$R_1 = \sum f[L_{2k} g_{1L} + g_{1t}(t_{p11}, t_{p12}, \dots, t_{p1n})], \quad (3)$$

где g_{1L} и g_{1t} — размер вреда пробегов i -х АТС КТГ под управлением j -х водителей; ω_{1i} и t_{p1i} — часовая производительность и время работы i -х АТС под управлением j -х водителей.

На основании теоретических исследований разработана математическая модель, которая позволяет оценить влияние весовых параметров транспортного средства на прочностные показатели дорожной конструкции и определить основные показатели, имеющие наибольшее влияние на эффективность перевозок КТГ. При применении программ Statgraphics и Excel получены регрессионные уравнения влияния рассматриваемых факторов. Результаты анализа приведены на рис. 3.

На основании результатов анализа разработана математическая модель влияния весовых параметров транспортного средства на прочностные показатели дорожной конструкции, позволяющая определить основные показатели, имеющие наибольшее влияние на эффективность перевозок:

$$Y = 189X_1 + 296X_2 + 2087X_3 + 3977X_4 - 6015X_5 + 45X_6 + 0,06X_7 + 5X_8 - 9950. \quad (4)$$

В результате из установленных факторов определены наиболее значимые, которыми являются: X_1 — превышение по массе в %; X_2 — превышение по осям в % нормативной осевой нагрузки; X_3 — количество осей ТС, по которым имеется превышение предельно допустимых осевых нагрузок; X_4 — среднегодовая температура, °С; X_5 — нормативная осевая нагрузка на ось.

Regression Statistics		ANOVA					
Multiple R	0,998118765						
R Square	0,996241069						
Adjusted R Squar	0,966169622						
Standard Error	2338,025403						
Observations	10						
		df	SS	MS	F	Significance F	
Regression		8	1448767006	1,81E+08	33,12914	0,133612893	
Residual		1	5466362,786	5466363			
Total		9	1454233369				

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-9950	11680,50275	-0,85186	0,55082	-158364,9574	138464,7614	-158364,9574	138464,7614
X Variable 1	189	166,8917805	1,134401	0,459966	-1931,239001	2309,883262	-1931,239001	2309,883262
X Variable 2	296	189,0577628	-1,56525	0,361928	-2698,129313	2106,283969	-2698,129313	2106,283969
X Variable 3	2087	1803,34834	1,157562	0,453591	-25001,20062	20826,22582	-25001,20062	20826,22582
X Variable 4	3977	589,6086303	6,745113	0,0937	-3514,711371	11468,66457	-3514,711371	11468,66457
X Variable 5	-6015	658,3919107	-9,13623	0,069405	-14380,88132	2350,443512	-14380,88132	2350,443512
X Variable 6	45	11,25483429	4,025016	0,155027	-97,7053463	188,3071113	-97,7053463	188,3071113
X Variable 7	0,06	0,019553573	2,929867	0,209393	-0,191162324	0,30574108	-0,191162324	0,30574108
X Variable 8	5	0,514852759	9,782581	0,064852	-1,505235612	11,57841351	-1,505235612	11,57841351

Рис. 3. Результаты анализа пакета данных математической модели

Было установлено, что наибольшее влияние на размер вреда оказывает нормативная осевая нагрузка на ось.

На основании математического моделирования сформирован алгоритм оптимизации планирования перевозочного процесса ТГ с учетом снижения воздействия на автомобильные дороги (рис. 4), который основывается на уточненной методике расчета размера вреда, причиняемого транспортными средствами, осуществляющими перевозки тяжеловесных грузов.

Последовательность комплексной оптимизации планирования перевозок ТГ автомобильным транспортом с учетом снижения воздействия на автомобильные дороги реализуется путем оптимизации планирования маршрута перевозки ТГ с учетом фактической осевой нагрузки автопоезда и параметров автомобильных дорог.

Посредством данной методики определяется маршрут с наименьшим значением размера платы в счет возмещения вреда, взимаемой в рамках оформления специального разрешения.

Вывод

Были исследованы основные системообразующие факторы, влияющие на эффективность перевозочного процесса ТГ. Установлено, что основные факторы, оказывающие существенное влияние на эффективность перевозки ТГ, — осевая нагрузка и состояние дорожного покрытия автомобильных дорог.

Использование нового системного подхода в планировании перевозочного процесса ТГ автомобильным транспортом на основе новых

критериев способно решить задачи, определенные Федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)»⁶, среди которых: ускорение товародвижения, снижение транспортных издержек и повышение эффективности использования всех видов ресурсов транспортного комплекса.

Была разработана математическая модель влияния системообразующих факторов на эффективность автомобильных перевозок тяжеловесных грузов, позволяющая провести расчетно-теоретическую оценку протекания перевозочного процесса ТГ, определить оптимальные затраты на возмещение вреда автомобильным дорогам, и предложена методика оптимизации планирования перевозок ТГ автомобильным транспортом путем снижения размера вреда автомобильным дорогам при перевозках ТГ.

Библиографический список

1. Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки. М.: ИД «Академия», 2008. 288 с.
2. Сафиуллин Р. Р. Разработка мероприятий по снижению размера вреда, причиняемого дорожному полотну при транспортировании тяжеловесных грузов автомобильным транспортом // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 1 (42). С. 112–116.
3. Сафиуллин Р. Р. К вопросу о методике расчета размера вреда, причиняемого дорожному полотну при транспортировании тяжеловесных грузов ав-

⁶ Постановление Правительства Российской Федерации от 05.12.2001 № 848 «О Федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» // СПС «КонсультантПлюс».

Рис. 4. Методика оптимизации планирования перевозочного процесса ТГ с учетом снижения воздействия на $P_{\text{пов.}i}$ — размер вреда, наносимого автомобильным дорогам, при превышении значений допустимых осевых нагрузок;
 $K_{\text{кап.рем}}$ — коэффициент, учитывающий относительную стоимость выполнения работ по капитальному ремонту и ремонту в зависимости от прохождения автомобильной дороги по территории федеральных округов РФ; $K_{\text{сез}}$ — коэффициент, характеризующий и интегрально учитывающий полную массу транспортных средств, перевозящих тяжеловесные грузы;
 $P_{\text{исх}}$ — исходное значение размера вреда, причиняемого транспортными средствами, при превышении допустимых осевых нагрузок для автомобильной дороги на 5 %; $\Pi_{\text{ос}}$ — превышение фактической осевой нагрузки над допустимой, т/ось;
 H — допустимая осевая нагрузка, т/ось; a, b — постоянные коэффициенты; k_s — эксплуатационный коэффициент, учитывающий критерий прочности дорожной одежды; $k_{\text{эд}}$ — допустимый эксплуатационный коэффициент, учитывающий критерий прочности дорожной одежды; $K_{\text{пу}}^T$ — требуемый коэффициент прочности дорожной одежды; $K_{\text{пу}}^T$ — требуемый коэффициент прочности по критерию упругого прогиба (табл. 2.13 (МОДН 2–2001)); F_i — функция переменных данных перевозочного процесса тяжеловесных грузов;
 C_Φ — фактические затраты на перевозку тяжеловесных грузов; $C^{\text{оп}}$ — оптимальные затраты на перевозку тяжеловесных грузов;
 $\mathcal{E}$ — эффективность перевозок тяжеловесных грузов на данный период; $\mathcal{E}_{\text{max}}$ — максимальная эффективность перевозок тяжеловесных грузов при применении разработанной методики

томобильным транспортом в РФ // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. № 5-1. С. 111–117.

4. Сафиуллин Р. Р., Широкая М. В., Абрамова К. В. Исследование влияния системообразующих факторов на эффективность перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2017. Т. 4, № 1 (7). С. 11–17.

References

1. Gorev A. Eh. *Gruzovye avtomobil'nye perevozki* [Freight transportation by road]. Moscow, Akademiya Publ., 2008, 288 p.

2. Safiullin R. R. *Razrabotka meropriyatiy po snizheniyu razmera vreda, prichinyaemogo dorozhnomu polotnu pri transportirovanii tyazhelovesnykh грузов avtomobil'nyim transportom* [Development of measures to reduce the amount of damage caused to the roadbed by transportation of heavy goods]. *Vestnik grazhdanskikh*

inzhenеров – *Bulletin of Civil Engineers*, 2014, no.1 (42), pp. 112–116.

3. Safiullin R. R. *K voprosu o metodike rascheta razmera vreda, prichinyaemogo dorozhnomu polotnu pri transportirovanii tyazhelovesnykh грузов avtomobil'nyim transportom v RF* [On the method of calculating the amount of damage caused to the roadbed by transportation of heavy goods by road in the Russian Federation]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki – Bulletin of TULSU. Technical science*, 2015, no. 5-1, pp. 111–117.

4. Safiullin R. R., Shirokaya M. V., Abramova K. V. *Issledovanie vliyaniya sistemoobrazuyushchikh faktorov na ehffektivnost' perevozki krupnogabaritnykh i tyazhelovesnykh грузов* [Study of the influence of system-forming factors on the efficiency of transportation of large and heavy loads]. *Al'ternativnye istochniki ehnergii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya – Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects of rational use*, 2017, vol. 4, no. 1 (7), pp. 11–17.