

ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

Д. Н. Самисько, канд. техн. наук

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ ОТ ЕГО ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Проведены экспериментальные исследования системного влияния на производительность грузового автомобиля таких факторов, как грузоподъемность, время его простоя под погрузкой-разгрузкой и время движения по характерным однородным участкам маршрута.

***Ключевые слова:** производительность автомобиля, моделирование компьютерное, факторное исследование*

Введение

Производительность грузового автомобиля является одним из показателей эффективности использования подвижного состава на автотранспортных предприятиях. При этом анализ влияния отдельных технико-эксплуатационных показателей на производительность, как правило, осуществляется без учета взаимосвязи этих показателей между собой. Таким образом нарушается объективность анализа эффективности использования подвижного состава.

Анализ публикаций

Основы анализа производительности грузовых автомобилей по утверждению, высказанному в [1], были заложены С. Р. Лейдерманом еще в 1932 году. В последствии был разработан метод факторного анализа производительности транспортных средств, основанный на предположении об отсутствии функциональной зависимости между грузоподъемностью транспортных средств, временем их движения и временем простоя под погрузкой и разгрузкой. На существование этой зависимости указывал еще автор метода С. Р. Лейдерман, однако ни он, ни его последователи [2, 3] не представили математическую запись этой зависимости. Современные авторы продолжают использовать для анализа производительности метод факторного анализа [4].

С учетом изложенного выше автором были предложены уточненные и дополненные зависимости для определения производительностей в тоннах в час и тонно-километрах в час [5], которые позволяют учесть имеющуюся в действительности функциональную зависимость между грузоподъемностью транспортных средств, временем их движения и временем простоя под погрузкой и разгрузкой.

Цель работы

Экспериментальные исследования влияния на производительность грузового автомобиля его грузоподъемности, времени простоя под погрузкой-разгрузкой и времени движения по участкам маршрута.

Основная часть

Разработанные автором [5] зависимости производительности являются моделями системного влияния параметров процесса перевозки на его производительность в тоннах в час и тонно-километрах в час:

$$P_Q = \frac{q_n \cdot \gamma_c}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}} \cdot \frac{q_n \cdot \gamma_c \cdot \left[\frac{q_n \cdot \gamma_c}{q_3} \cdot t_3 + \tau \cdot q_n \cdot \gamma_c + t_{\text{ном. н-р}} \right]}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} + \frac{q_n \cdot \gamma_c}{q_3} \cdot t_3 + \tau \cdot q_n \cdot \gamma_c + t_{\text{ном. н-р}} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}}, \text{ Т/ч}; \quad (1)$$

$$P_W = \frac{q_n \cdot \gamma_\delta \cdot \sum_{j=1}^m l_{e_{z_j}}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}} \cdot \frac{q_n \cdot \gamma_\delta \cdot \left[\frac{q_n \cdot \gamma_c}{q_3} \cdot t_3 + \tau \cdot q_n \cdot \gamma_c + t_{\text{ном. н-р}} \right] \cdot \sum_{j=1}^m l_{e_{z_j}}}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} + \frac{q_n \cdot \gamma_c}{q_3} \cdot t_3 + \tau \cdot q_n \cdot \gamma_c + t_{\text{ном. н-р}} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}}, \text{ Т·км/ч}, \quad (2)$$

где q_n – номинальная грузоподъемность грузового автомобиля, т;

γ_c, γ_δ – коэффициенты статического и динамического использования грузоподъемности;

τ – норма времени на разгрузку одной тонны груза автомобилем-самосвалом, ч/т, которая выбирается из норматива для автомобиля определенной грузоподъемности;

$t_{\text{ном. н-р}}$ – постоянная составляющая части времени погрузки-разгрузки, ч, которая содержит время маневрирования и время ожидания погрузки;

t_3 – значение времени цикла погрузки одного ковша экскаватора, ч;

L_i – длина i -го характерного однородного участка маршрута, км;

V_i – скорость движения по i -му характерному однородному участку маршрута, км/ч, которая определяется путем моделирования движения автомобиля-самосвала по этому участку и по маршруту в целом (алгоритмы моделирования представлены в [6–8]);

$\sum_{j=1}^m l_{e_{z_j}}$ – суммарный пробег с грузом, км;

$\frac{L_i}{V_i}$ – время движения по i -му характерному участку маршрута, t_{δ_i} , ч;

$\frac{q_n \cdot \gamma_c}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}}$ и $\frac{q_n \cdot \gamma_\delta \cdot \sum_{j=1}^m l_{e_{z_j}}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}}$ – максимально возможные производительности, т/ч и т·км/ч,

при условии, что транспортное средство не простаивает под погрузкой-разгрузкой, а постоянно находится в движении.

В связи с тем, что в зависимостях (1) и (2) учтено большое количество факторов, их применение на практике без использования специального компьютерного программного обеспечения затруднено.

Основываясь на алгоритмах моделирования процесса дорожного движения карьерного автомобиля-самосвала по характерным однородным участкам маршрута [6–8], в среде программирования Delphi с помощью языка программирования Object Pascal, была разработана компьютерная программа «Productivity and fuel consumption». Общий вид окна программы представлен на рисунке 1.

Productivity and fuel consumption

Исходные данные для моделирования

Параметры автомобиля

- 1) Марка автомобиля
- 2) Модель автомобиля
- 3) Грузоподъёмность автомобиля, т
- 4) Собственная масса автомобиля, т
- 5) Коэффициенты изменения вертикальных реакций для осей автомобиля:
 - передней
 - задней
- 6) Тип двигателя
 - С бензиновый
 - С дизельный
- 7) Максимальная мощность двигателя, кВт
- 8) Максимальная скорость автомобиля, км/ч
- 9) Скорость автомобиля, соответствующая максимальной мощности двигателя, км/ч
- 10) КПД трансмиссии
- 11) Колея колёс автомобиля, м
- 12) Максимальная высота автомобиля, м
- 13) Удельная касательная реакция колеса
- 14) База автомобиля, м
- 15) Норма времени разгрузки автомобиля, ч/т
- 16) Коэффициент сопротивления воздуха, $H \cdot c^2/m^4$
- 17) Максимальное возможное ускорение, м/с²
- 18) Максимальное возможное замедление, м/с²

Параметры, относящиеся к автомобилю и грузу

- 1) Коэффициент статического использования грузоподъёмности

Параметры погрузочного устройства

- 1) Грузоподъёмность погрузочного устройства, т
- 2) Время цикла погрузки одного рабочего органа, ч

Общая длина маршрута, км

Количество характерных участков на маршруте по направлениям

- прямое
- обратное

Коэффициент использования пробега

Построить таблицу

Номер характерного участка	
Длина характерного участка, км	
Продольные уклоны, градусы	
Радиусы кривых в плане, км	
Коэффициент поперечн. сцепления	
Угол поперечного наклона дороги, градусы	
Коэф. сопротивления качению	

Импортировать данные из Excel

Параметры, относящиеся к автомобилю, погрузочному устройству и маршруту

- 1) Время ожидания погрузки, ч
- 1) Время маневрирования в пунктах погрузки и разгрузки, ч

Рассчитать максимально возможные скорости движения на характерных участках

Перейти к расчёту скоростей движения с учётом ускорений

Моделирование движения по характерным однородным участкам

2) Расчёт скоростей с учётом ускорений и замедлений

3) Расчёт расхода топлива

4) Графики 1

5) Графики 2

6) Графики 3

7) Отчёт

Тяговая характеристика

1) Расчёт скоростей из условий безопасности движения

Скорости движения по характерным участкам маршрута из условий безопасности движения

Номер характерного участка	
V1, км/ч	
V2, км/ч	
V3, км/ч	
V4, км/ч	
V5, км/ч	
V6, км/ч	

Примечание: V1 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия бокового скольжения;
 V2 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия угрозы опрокидывания;
 V3 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия заноса передней оси автомобиля;
 V4 - максимально допустимая скорость движения из условия отсутствия заноса задней оси автомобиля;
 V5 - максимально допустимая скорость движения из баланса мощностей автомобиля;
 V6 - максимальная скорость автомобиля.

Минимальные из возможных скоростей на участках по условиям безопасности движения

Номер характерного участка	
Vmin	

Рисунок 1 – Общий вид окна программы «Productivity and fuel consumption»

С помощью программы «Productivity and fuel consumption» может быть реализована методика организации процесса перевозок и повышения показателей работы карьерных автомобилей-самосвалов (с целью увеличения производительностей в тоннах в час, тонно-километрах в час). Методика состоит из следующих этапов:

1) сбор исходных данных об автомобиле-самосвале, экскаваторе, грузе и маршруте движения;

2) моделирование движения карьерного автомобиля-самосвала по отдельным характерным однородным участкам маршрута с учетом технических характеристик автомобиля-самосвала, условий дорожного движения, длины отдельных характерных однородных участков, максимально возможных ускорений и замедлений автомобиля и значений его скоростей на предыдущем и следующем характерных однородных участках.

В результате выполнения этого этапа для каждого характерного однородного участка становятся известны такие характеристики, как скорость движения в начале участка, скорость движения на участке, скорость движения в конце участка, время и путь ускоренного движения, время и путь равномерного движения, время и путь замедленного движения. Эти данные являются необходимыми и достаточными для построения графиков зависимостей времени движения по маршруту от пройденной части его длины и скорости движения по маршруту от его длины;

3) определение производительностей автомобиля-самосвала в тоннах в час и тонно-километрах в час на каждом характерном участке маршрута и маршруте в целом за езду;

4) выявление путей повышения производительностей автомобиля-самосвала в тоннах в час и тонно-километрах в час на отдельных характерных однородных участках маршрута и маршруте в целом путем изменения отдельных исходных данных (получаются на основании дополнительно разрабатываемых мероприятий) и сравнения результатов моделирования с теми, которые получены до изменения исходных данных.

Апробация теоретических положений проводилась с использованием исходных данных ГП «Комсомольское рудоуправление» (Донецкая Народная Республика, г. Комсомольское, Старобешевский район, ул. Ленина, 1-1).

Результаты обработки полученных экспериментально и смоделированных значений производительностей в тоннах в час и тонно-километрах в час для 14 маршрутов ГП «Комсомольское рудоуправление» представлены в таблице 1.

С помощью критерия Шапиро – Уилка доказано, что полученные экспериментально и смоделированные значения производительностей в тоннах в час и тонно-километрах в час подчиняются нормальному закону распределения.

Нулевая гипотеза нормальности распределения не отклоняется при условии, если рассчитанные значения статистик критерия W будут большими, чем критические значения $W_n(\alpha)$. Значения статистики критерия W рассчитываются по формуле [9]:

$$W = \frac{1}{S^2} \left[\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (x_{n-i+1} - x_i) \right]^2, \quad (3)$$

где $\left[\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (x_{n-i+1} - x_i) \right]^2$ – квадрат оценки среднеквадратического отклонения Ллойда [10]:

a_{n-i+1} – табличные значения коэффициентов, которые выбираются из [10];

n – количество элементов в выборке (в нашем случае $n = 14$);

k – количество табличных значений коэффициентов a_{n-i+1} , которые используются для

расчета статистики критерия $k = \frac{n}{2}$;

x_i – i -е значение смоделированной или определенной экспериментально производительности;

S^2 – общая сумма квадратов отклонений [9].

Таблица 1 – Обработка полученных экспериментально и смоделированных значений расхода топлива и производительностей в тоннах в час и тонно-километрах в час

№ элемента вариационного ряда	Вариационный ряд для часовой производительности, тонн/час, определенной экспериментально	Вариационный ряд для смоделированной часовой производительности, тонн/час	Вариационный ряд для часовой производительности, тонно-километров/час, определенной экспериментально	Вариационный ряд для смоделированной часовой производительности, тонно-километров/час
1	77,5	77,7	158,43	157
2	83,6	83,3	171,72	171
3	83,6	83,6	171,72	171
4	85,85	85,8	182,97	182
5	90,74	90,8	182,97	183
6	90,74	90,8	187,98	188
7	109,42	109	192,63	193
8	113,31	113	196,96	196
9	117,49	117	217,77	218
10	121,98	122	217,77	218
11	121,98	122	223,21	223
12	132,09	132	225,71	225
13	132,09	132	225,71	226
14	144,03	143	232,5	233
Сума	1504,42	1502	2788,05	2784
Среднее значение	107,458	107,286	199,146	198,857
S^2	6173,559	6076,917	7653,97	7901,714
$\left[\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (x_{n-i+1} - x_i) \right]^2$	5681,399	5587,095	7043,52	7296,884
W	0,92	0,919	0,92	0,924
$W_{14}(0,05)$	0,874	0,874	0,874	0,874

Критические значения $W_n(\alpha)$ для выборки с количеством элементов $n = 14$ и уровнем значимости $\alpha = 0,05$ $W_{14}(0,05) = 0,874$ [10]. Из таблицы 1 видно, что для всех вариационных рядов значения расчетных статистик критериев являются большими, чем критическое значение $W_{14}(0,05) = 0,874$. Таким образом, для всех вариационных рядов, приведенных в таблице 1, нулевая гипотеза нормальности распределения на уровне значимости $\alpha = 0,05$ не отклоняется.

Проведена проверка адекватности данных, смоделированных с помощью компьютерной программы «Productivity and fuel consumption» (производительности в тоннах в час и тонно-километрах в час), экспериментально установленным данным. Выяснено, что результаты моделирования с помощью компьютерной программы «Productivity and fuel consumption» могут рассматриваться как теоретическое представление процесса перевозки

грузов автомобилями-самосвалами, поскольку расчетные значения критериев Стьюдента для часовой производительности в тоннах в час ($t_p = 2,035$) и тонно-километрах в час ($t_p = 1,762$) меньше табличного значения ($t_T = 2,1604$), установленного для уровня значимости 0,05 [9].

Смоделировано также движение одиннадцати современных карьерных автомобилей-самосвалов производства ПО «БелАЗ» по двум маршрутам ГП «Комсомольское рудоуправление».

Результаты моделирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты моделирования процесса перевозки грузов автомобилями-самосвалами разной грузоподъемности

Грузоподъемность, т		0	30	45	60	90	110	130	154	220	240	320	360
Маршрут № 1	Производительность, т/ч	0	91,2	163	213	312	373	435	516	666	693	767	774
	Производительность, т·км/ч	0	237	425	555	812	969	1130	1340	1730	1800	1990	2010
Маршрут № 14	Производительность, т/ч	0	123	218	283	414	471	554	658	848	872	930	916
	Производительность, т·км/ч	0	160	283	368	538	612	720	856	1100	1130	1210	1190

По данным таблицы 2 построены зависимости производительностей автомобиля-самосвала в тоннах в час от грузоподъемности (рисунок 2) и тонно-километрах в час от грузоподъемности (рисунок 3).

Для маршрута № 1 установлены уравнения линий тренда для зависимостей производительностей автомобилей-самосвалов в тоннах в час от их грузоподъемностей (4) и тонно-километрах в час от их грузоподъемностей (5).

$$P_Q(q_n) = -0,0059 \cdot q_n^2 + 4,341 \cdot q_n - 21,5479, \text{ т/ч}; \quad (4)$$

$$P_W(q_n) = -0,0152 \cdot q_n^2 + 11,2746 \cdot q_n - 55,1435, \text{ т·км/ч}. \quad (5)$$

Анализ уравнений (4) и (5) показывает, что они описывают кривые второго порядка, а именно – параболы.

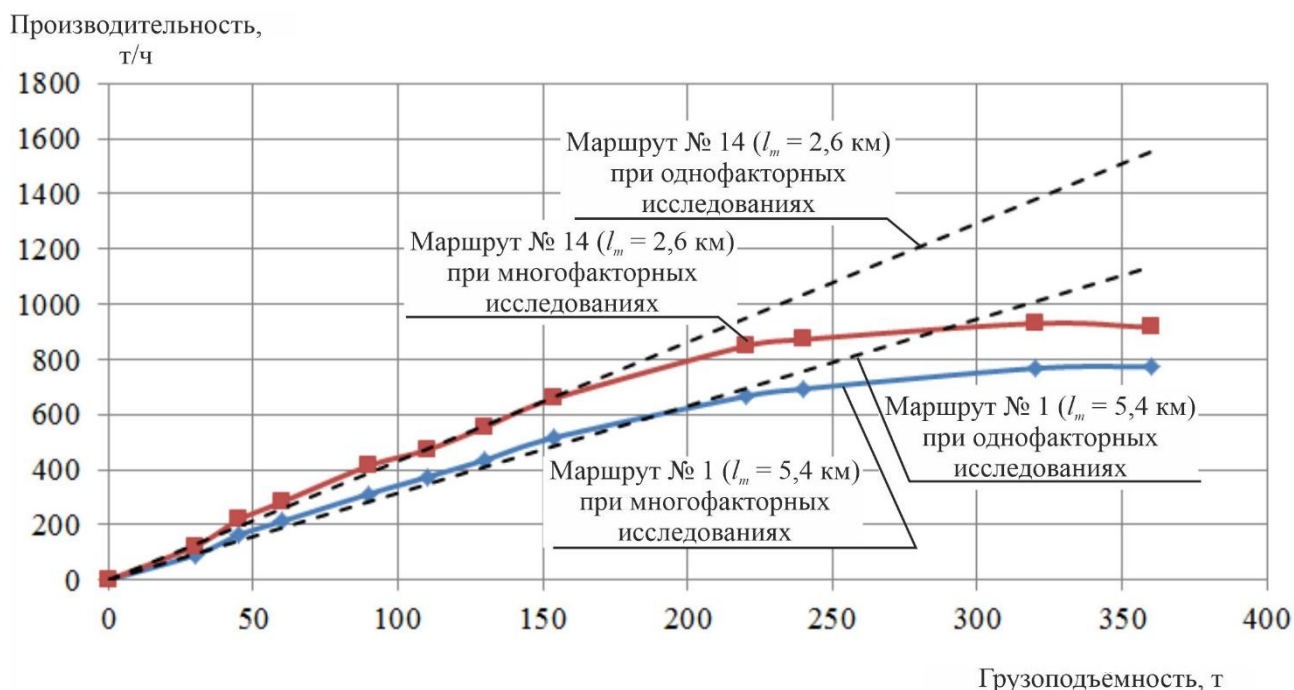


Рисунок 2 – Закономерности изменения производительности автомобилей-самосвалов в тоннах в час от их грузоподъемностей для маршрутов № 1 и № 14

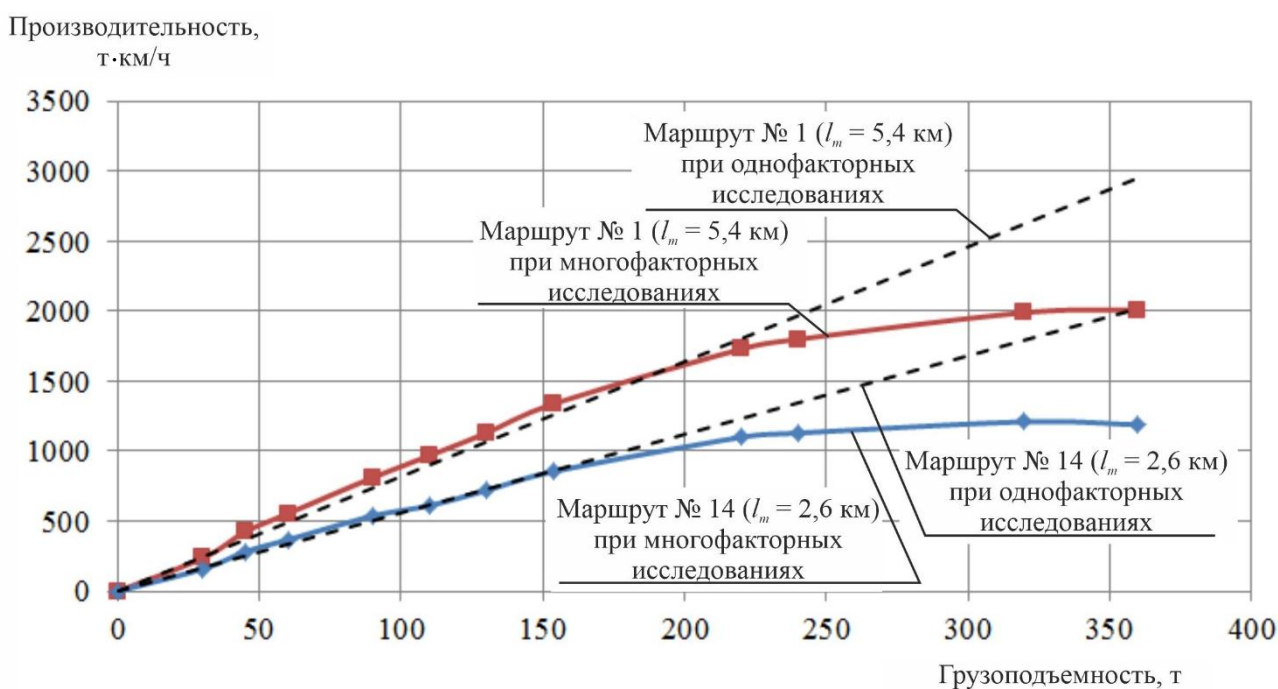


Рисунок 3 – Закономерности изменения производительности автомобилей-самосвалов в тонно-километрах в час от их грузоподъемностей для маршрутов № 1 и № 14

Для одного из маршрутов ГП «Комсомольское рудоуправление» была применена методика организации процесса перевозки грузов карьерными автомобилями-самосвалами. Установлено, что применение этой методики позволяет повысить производительность в тоннах в час с 85,8 т/ч до 105 т/ч (+ 22,38 %), производительность в тонно-километрах в час – с 223 т·км/ч до 273 т·км/ч (+ 22,43 %). Полученные результаты свидетельствуют о значительном повышении показателей эффективности процесса перевозки на этом маршруте.

Заключение

В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что при условии учета совместного влияния на производительность грузового автомобиля его грузоподъемности, времени движения и времени простоя под погрузкой-разгрузкой зависимость производительности от грузоподъемности будет иметь нелинейный характер и математически описываться кривой второго порядка – параболой. С практической точки зрения это означает бессмысленность постоянного наращивания грузоподъемности автомобиля-самосвала, так как производительность при этом будет увеличиваться незначительно или даже снижаться.

Список литературы

1. Агабабов, А. Г. Эффективность грузовых автомобильных перевозок / А. Г. Агабабов. – Ереван : Айастан, 1978. – 168 с.
2. Афанасьев, Л. Л. Автомобильные перевозки : учебник / Л. Л. Афанасьев. – Москва : Транспорт, 1965. – 351 с.
3. Великанов, Д. П. Эффективность автомобиля / Д. П. Великанов. – Москва : Транспорт, 1969. – 240 с.
4. Гатиятуллин, М. Х. Автомобильные перевозки / М. Х. Гатиятуллин, Р. Р. Загидуллин. – Казань : Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 163 с. – ISBN 2227-8397.
5. Куниця, А. В. Підходи до багатофакторного дослідження продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів / А. В. Куниця, Д. М. Самісько // Наукові нотатки. – 2010. – Вип. № 28. – С. 295–300.
6. Куниця, А. В. Алгоритм моделювання процесу перевезень з урахуванням його багатофакторного дослідження / А. В. Куниця, Д. М. Самісько // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2010. – № 2 (11). – С. 64–70.
7. Самісько, Д. М. Моделювання процесу дорожнього руху транспортного засобу *i*-ю характерною однорідною ділянкою маршруту / Д. М. Самісько // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – № 3. – С. 38–46.
8. Самісько, Д. М. Алгоритм моделювання процесу дорожнього руху транспортного засобу / Д. М. Самісько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/4 (55). – С. 43–50.
9. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с. – ISBN 5-9221-0707-0.
10. Shapiro, S. S. An Analysis of Variance Test for Normality (Compete Samples) / S. S. Shapiro, M. B. Wilk // Biometrika. – 1965. – Vol. 52. – № 3/4. – P. 591–611.

Д. Н. Самісько

Автомобільно-дорожній інститут

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Экспериментальные исследования зависимости производительности грузового автомобиля от его грузоподъемности

Производительность грузового автомобиля является одним из показателей эффективности использования подвижного состава на автотранспортных предприятиях. При этом анализ влияния отдельных технико-эксплуатационных показателей на производительность, как правило, осуществляется без учета взаимосвязи этих показателей между собой. Таким образом нарушается объективность анализа эффективности использования подвижного состава.

Предложены аналитические зависимости, позволяющие учитывать совместное влияние на производительность грузоподъемности автомобиля, времени его простоя под погрузкой-разгрузкой и времени движения по участкам маршрута.

В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что при условии учета совместного влияния на производительность грузового автомобиля его грузоподъемности, времени движения и времени простоя под погрузкой-разгрузкой зависимость производительности от грузоподъемности будет иметь нелинейный характер и математически описываться кривой второго порядка – параболой.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ, ФАКТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

D. N. Samisko

Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Experimental Studies of the Hauling Capacity Dependence on the Truck Carrying Power

The hauling capacity is one of the indicators of the rolling stock effective use at motor transport enterprises. Moreover, the analysis of the individual technical and operational indicators impact on productivity, as a rule, is carried out without taking into account the relationship of these indicators with each other. Thus, the analysis objectivity of the rolling stock effective use is violated.

Analytical dependencies allowing to take into account the joint effect on the vehicle's carrying capacity, its downtime under loading and unloading and the travel time on route sections are proposed.

As a result of experimental studies, it is determined that, on condition of taking into account joint impact of truck carrying power and its downtime under loading and unloading on its hauling capacity, the dependence of the hauling capacity on the carrying power will be non-linear and mathematically described by a second-order curve known as a parabola.

TRUCK HAULING CAPACITY, COMPUTER SIMULATION, FACTOR RESEARCH

Сведения об авторе:

Д. Н. Самисько

SPIN-код: 6088-4257

Телефон: +38 (071) 318-99-61

Эл. почта: sdn1982@yandex.ru

Статья поступила 12.02.2020

© Д. Н. Самисько, 2020

Рецензент: А. Н. Дудников, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»