

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК  
С УЧЕТОМ КОНЦЕПЦИИ «ТОЧНО В СРОК» НА ПРИМЕРЕ  
АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ**

Доктор техн. наук, профессор **Володькин П.П.**  
(Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск)  
Старший преподаватель **Архипов С. А.**  
(Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток)  
Канд. экон. наук, доцент **Рыжова А.С.**  
(Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск)

**IMPROVING THE QUALITY OF TRANSPORTATION SERVICES FOR FREIGHT AUTOMOBILE  
TRANSPORTATION ON THE BASE OF MODELING TRANSPORTATION OPERATIONS BY  
"JUST IN TIME", AS AN EXAMPLE OF THE AUTOMOBILE TRANSPORT ENTERPRISES  
IN THE PRIMORYE TERRITORY**

Doctor (Tech.), Professor **Volodkin P. P.**  
(Pacific National University)  
Senior Lecturer **Arkhipov S. A.**  
(Far Eastern Federal University)  
Ph.D. (Econ.), Associate Professor **Ryzhova A. S.**  
(Pacific National University)

*Транспортно-логистические операции, автомобильный транспорт, транспортировка грузов, мультимодальные перевозки, качество транспортного обслуживания, концепция «точно в срок», концепция «отгружено/доставлено в полном объеме».*

*Transport and logistics operations, automobile transport, efficiency, quality of transport services, transportation of goods, multimodal transportation, just-in-time, on time – in full.*

*В статье рассмотрена необходимость формирования модели транспортировки грузов согласно концепциям «точно в срок» - just-in-time (JIT) и «отгружено/доставлено в полном объеме» - on time – in full (OTIF) для мультимодальных грузовых автомобильных перевозок. Предложена математическая модель расчета вероятностных отклонений доставки груза от нормируемого времени, а также приведен порядок и интерпретация теории нормального распределения. Рассмотрены аналитические зависимости, которые позволяют получить искомые оценки выполнения транспортных операций для мультимодальных перевозок согласно JIT: среднее время транспортировки; вероятность выполнения доставки или время доставки с заданной вероятностью. Предложена математическая модель вероятностного отклонения времени доставки груза от требуемого, а также приведен порядок и интерпретация согласно теории нормального распределения. Рассчитаны показатели «отгружено/доставлено в полном объеме» - on time – in full (OTIF) - для предприятий Приморского Края.*

*The article discusses the need to form a model for the transportation of goods according to the concepts « just-in-time» (JIT) and «on time - in full» (OTIF) for multimodal freight automobile transport. A mathematical model for calculating the probability of deviations of the standardized delivery time from the required one is proposed, and the order and interpretation according to the theory of normal distribution are presented. Analytical dependencies are considered, which make it possible to obtain the required estimates of the performance of transport operations for multimodal transportation according to JIT: average transportation time; the probability of delivery or the delivery time with a given probability. A mathematical model for calculating the probability of deviations of the standardized delivery time from the required one is proposed, and the order and interpretation according to the theory of normal distribution are presented. The indicators on time - in full (OTIF) for enterprises of the Primorsky Territory were calculated. The proposed model was tested according to the criteria of timeliness.*

### **Введение**

Каждое клиентоориентированное предприятие стремится повысить качество своих услуг, для автотранспортных предприятий (АТП) своевременность доставки грузов - один из основных показателей качества автомобильных перевозок, поэтому для улучшения качества работы АТП управление показателем своевременности доставки стоит на первом месте.

Для АТП на примере Приморского края проведено анкетирование, где показатель своевременности доставки входит в перечень тех показателей, которые сами транспортно-экспедиционные компании оценивают как входящий в тройку основных (наряду с безопасностью и ценой). Решение задачи своевременности доставки поможет значительно повысить уровень сервиса и улучшить показатели качества транспортного обслуживания на предприятиях автомобильного транспорта.

Технология «точно в срок» - *just in time (JIT)*, интегрированная с системой и показателями «отгружено/доставлено в полном объеме» - *on time – in full (OTIF)*, рассматривается в исследовании для мультимодальных перевозок с учетом предложенных авторами доработок, позволяющих, при действующей системе доставки на АТП и с минимальными изменениями самой системы доставки, прогнозировать размер временных интервалов и плотности вероятности попадания данного интервала в диапазон отклонений при каждом рейсе, что приводит к повышению качества транспортного обслуживания клиентов транспортно-экспедиционных компаний.

За базу для расчета своевременной поставки товара предлагается использовать концепцию «точно в срок» - *just in time (JIT)*. Это современная технология проектирования цепи поставок основана на синхронизации доставки продукции в минимально необходимых количествах к тому времени, когда элементы цепи поставок в них нуждаются, для оптимизации и минимизации затрат на страховой запас. Принципы *JIT* позволяют снизить неопределенности логистических циклов за счет синхронизации всех транспортных операций. Концепция *JIT* в своей основе имеет определение точного времени продолжительности перевозки и других сопутствующих операций.

### Постановка задачи

Автомобильный грузовой транспорт РФ не имеет жестких нормативных регулирований для расчетов стандартных отклонений по критерию своевременности и подхода к интерпретации показателей уровня сервиса и *OTIF*.

В общем виде формула для нахождения общей продолжительности рейса с учетом специфики перевозок для автомобильного вида транспорта выглядит следующим образом (из Учебного пособия. 2-е изд. под ред. В. С. Лукинского, 2007г.):

$$T_o = \sum_{i=1}^A t_{i,i+1} + \sum_{j=1}^B \tau_j + \sum_{k=1}^C \Theta_k + \sum_{l=1}^D \varphi_l + \sum_{m=1}^E \psi_m + \sum_{n=1}^F \eta_n, \quad (1)$$

где  $t_{i,i+1}$  – время движения между  $i$ -м и  $(i+1)$ -м пунктами;  
 $\tau_j$  – время оформления транспортных и товаросопроводительных документов в  $j$ -м пункте (внутри страны и на пограничных переходах);

$\Theta_k$  – время погрузки, разгрузки и складирования в  $k$ -м пункте;

$A, B, C$  – количество участков движения автомобиля и пунктов погрузки-разгрузки соответственно;

$\varphi_l$  – случайная составляющая, отражающая увеличение времени рейса для проведения ремонтно-профилактических воздействий и других причин;

$\psi_m$  – случайная составляющая, отражающая ограничения, связанные с режимом труда и отдыха водителей;

$\eta_n$  – случайная составляющая, отражающая запреты на движение большегрузных автомобилей;

$D, E, F$  – число случаев простоя автомобиля с учетом указанных причин.

Формула (1) предложена для расчета времени междугородной перевозки автомобильным транспортом. Однако сегодня стоит проблема использования модели для мультимодальных перевозок. Именно такие перевозки являются наиболее востребованными и осуществляются крупнейшими транспортными компаниями

мира, в том числе 3-PL провайдерами, такими как DHL, Maersk, TNT-Express и другие.

Поэтому, на наш взгляд, модель (формула 1) может быть доработана и уточнена, что можно сделать, добавив соответствующие операции для различных видов транспорта (время движения, погрузки-разгрузки и т.д.). Тогда усовершенствованная модель расчета времени транспортировки для мультимодальных перевозок примет вид:

$$T_o = \sum_{r=1}^N \sum_{i=1}^A t_{r,i} + \sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^B \tau_{r,j} + \sum_{r=1}^N \sum_{k=1}^C \Theta_{r,k} + \sum_{r=1}^N \sum_{l=1}^D \varphi_{r,l} + \sum_{m=1}^E \psi_m + \sum_{n=1}^F \eta_n, \quad (2)$$

В формуле (2) индекс  $r$  отражает определенный вид транспорта  $r = 1, 2, \dots, N$ . Например, при использовании на маршруте автомобильного и морского транспорта  $N=2$ .

Также в обеих моделях (формула 1, 2) необходимо учитывать особенности режима труда и отдыха водителей автомобильного транспорта, связанные с накоплением времени работы водителя в течение дня, недели и двух недель, что приводит к скачкообразному увеличению времени рейса без изменения пройденного пути. Это обуславливает наличие переменной  $u_m$ , являющейся ограничением для каждого дня движения автомобиля за время рейса. Для учета этого ограничения уравнения (1, 2) должны быть дополнены неравенством:

$$\sum t_{i,i+1} < T, \quad (3)$$

где  $T_y$  – нормированная продолжительность управления в день (например,  $T_y = 9$  ч).

Помимо неравенства (3) необходимо ввести ограничение, связанное с продолжительностью ежедневного отдыха водителей  $T_{от}$ :

$$\sum (t_{i,i+1} + \Theta_k + \tau_j + \varphi_l + \eta_n) < 24 - T_{от}, \quad (4)$$

Для определения времени доставки необходимо подробнее оценить аналитические зависимости между временем доставки и влияющими факторами.

Оценка функции распределения времени доставки  $F_{\Sigma}(T)$  согласно сформированной модели представляет сумму случайных величин. При условии их независимости плотность распределения  $f_{\Sigma}(T)$  рассчитывается по формуле:

$$f_y(T) = f_1(t_1) \cdot f_2(t_2) \cdot \dots \cdot f_n(t_n) = \prod_{i=1}^n f_i(t_i), \quad (5)$$

где  $f_i(t)$  – плотность распределения времени выполнения  $i$ -ой операции.

В общем случае расчет времени по формулам (1, 2) сводится к рекуррентным формулам.

Анализ ряда работ [1, 2, 3] показал, что только для нескольких законов распределения с разными параметрами получены расчетные зависимости для  $f''(t)$  и  $F''(T)$  – нормальный и экспоненциальный законы и распределения Пуассона.

Оценка вероятности доставки «точно в срок» производится по формуле:

$$P(T) = \int_0^{T_0} (T) dt, \quad (6)$$

Например, в случае нормальных законов распределения формула для  $P(T)$  запишется в виде:

$$P(T) = \Phi\left(\frac{T_0 - T_s}{\sigma_s}\right), \quad (7)$$

где  $T_s = \sum_{i=1}^n \bar{t}_i$ ,  $S_s^2 = \sum_{i=1}^n S_i^2$ ,  $\Phi(x)$  – функция нормального закона распределения.

Пользуясь подходом о том, что расчет статистических параметров базируется на теоремах о числовых характеристиках случайных величин [3], среднее значение суммы случайных величин рассчитывается по формуле:

$$M\left[\sum_{i=1}^n t_i\right] = \sum_{i=1}^n M[t_i], \quad (8)$$

и дисперсия с учетом корреляции:

$$D\left[\sum_{i=1}^n t_i\right] = v \sum_{i=1}^n D[t_i] + 2 \cdot \sum_{i < j} k(t_i, t_j), \quad (9)$$

Для определения вида законов распределения  $F''(T)$  в первом приближении можно воспользоваться коэффициентом вариации [4]:

$$v = \frac{\sqrt{D\left[\sum_{i=1}^n t_i\right]}}{M\left[\sum_{i=1}^n t_i\right]}. \quad (10)$$

Рассчитаем значения нормального распределения времени отклонения от заданных параметров по критериям концепции ЛТ для основных маршрутов АТП, представленных в исследовании. За основу при распределении возьмем средние первоначальные отклонения от стандартного времени доставки грузов (таблица 1).

Таблица 1.

Исходные данные по среднему отклонению (в минутах) для расчета математического ожидания

№ АТП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Отклонения от времени, мин	12	14	16	20	8	4	6	22	17	2	1	6	9	4	5	8	5	6	5	24	2	13	10	12	14

Общее количество элементов в вариативной выборке (см. табл. 1) равно  $n=25$ , если принять, что вероятность возникновения каждого значения равна  $p=0,1$ , то математическое ожидание будет равно  $M=p \cdot n$ , то есть  $M=2,5$ .

Функция биномиального распределения будет иметь следующие значения (таблица 2).

Таблица 2.

Значения функции биномиального распределения своевременности доставки

$x$	$P(X=x)$	для математического ожидания ( $M(X)$ )
0	0,072	0,000
1	0,199	0,199
2	0,266	0,532
3	0,226	0,679
4	0,138	0,554
5	0,065	0,323
6	0,024	0,144
7	0,007	0,051
8	0,002	0,014
9	0,000	0,003
10	0,000	0,001

Среднеквадратическое отклонение при этом будет равно  $\sigma = 6,41$ .

Приведем вычисления функции распределения временных интервалов и плотности вероятности попадания

данного интервала в диапазон отклонений при каждом рейсе, при существующей системе доставки на АТП Приморского края (таблица 3).

Таблица 3.

Значения функции распределения временных интервалов и плотности вероятности попадания данного интервала в диапазон отклонений при каждом рейсе

Отклонения временных интервалов от заданных значений по графику доставки	Функция распределения	Плотность вероятности
$x$	$P(X \leq x)$	$p(x)$
-19,9	0,00023	0,00014
-16,7	0,00135	0,00069
-13,5	0,00621	0,00273
-10,3	0,02275	0,00842
-7,1	0,06681	0,02021
-3,9	0,15866	0,03775
-0,7	0,30854	0,05493
2,5	0,50000	0,06224
5,7	0,69146	0,05493
8,9	0,84134	0,03775
12,1	0,93319	0,02021
15,3	0,97725	0,00842
18,5	0,99379	0,00273
21,7	0,99865	0,00069
24,9	0,99977	0,00014

График функции согласно данных таблицы 3 представлен на рис. 1.

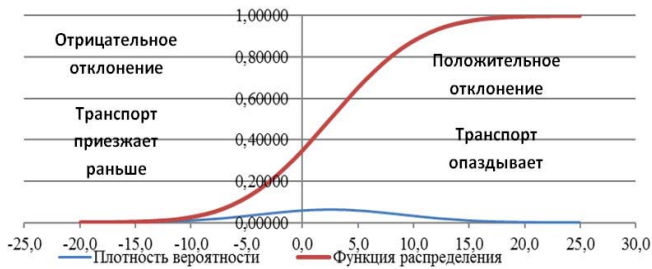


Рис. 1. График функции плотности вероятности и функции распределения

Вероятность прибытия для автотранспортных предприятий вовремя для стандартного распределения времени по результатам эксперимента составляет 65,17%, в то время как 34,83% – вероятность того, что транспорт будет иметь отклонения (как положительные, так и отрицательные) по времени доставки.

График распределения плотности вероятности изображен на рис. 2.

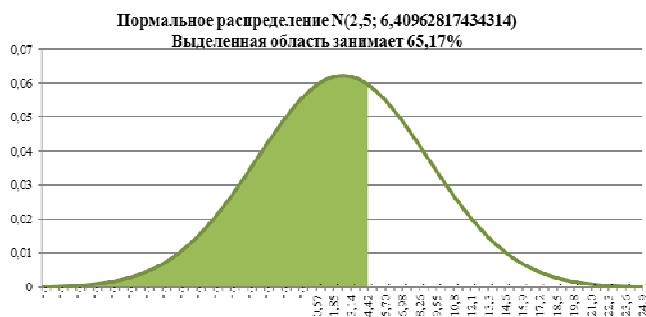


Рис. 2. Плотность вероятности по критерию своевременности по результатам эксперимента для АТП Приморского края

Предложена математическая модель для расчета отклонений нормируемого времени доставки груза от требуемого (вероятность отклонений), а также приведен порядок и интерпретация согласно теории нормального распределения. Рассмотренные аналитические зависимости позволяют получить искомые оценки выполнения транспортных операций для мультимодальных перевозок согласно *ИТ*: среднее время транспортировки; вероятность выполнения доставки или время доставки с заданной вероятностью. Адекватность полученных оценок будет зависеть от количества ограничений и их величины.

Применение аналитических зависимостей для оценки времени транспортировки ограничено. Поэтому возникает объективная необходимость использования методов статистических испытаний, в частности, моделирования каждой перевозки. Необходимо учитывать, что выполнение перевозки с учетом концепции *ИТ* предполагает максимально полный учет причин, приводящих к сбоям, и, соответственно, в дальнейшем - к задержкам.

Наиболее распространенные причины опозданий в практике современных транспортных предприятий Приморского края [5]:

- нарушение сроков доставки (из-за часовой оплаты работы водителя);

- нарушение планируемого времени на выполнение перевозки и смещение работы на других участках, что может привести к прибытию в пункт разгрузки (перевалки, таможенного контроля, порт и т.п.) в нерабочее время;

- ДТП или штрафы за нарушение скоростного режима;

- отсутствие мобильной системы навигации в транспортном средстве, позволяющее оперативно реагировать на внештатные ситуации.

Уточненный алгоритм моделирования транспортных процессов для мультимодальной перевозки, а также расширенная модель определения времени выполнения транспортировки для нескольких видов транспорта позволяют провести аналитическую оценку ключевых показателей транспортировки.

Алгоритм моделирования транспортных операций целесообразно разбить на основные блоки, которые для прогнозирования продолжительности перевозок требуется учитывать:

1 – **база данных** – исходные данные для формирования информационной базы перевозочного процесса, а именно – режим работы складских комплексов, пунктов перегрузки, проведения погрузочно-разгрузочных работ, вынужденного простоя транспорта по организационным и иным причинам;

2 – **критерий успешного моделирования** – схема маршрутизации при междугородных, внутригородских и международных маршрутах.

3 – **критерий эффективности** – доставка требуемого количества груза в назначенное время как общий показатель уровня сервиса транспортной операции, технический смысл которого заключается не только в критерии своевременности, но и полноты отгрузки требуемого количества груза для клиента.

Таким показателем может стать интегрированный показатель *OTIF* (*on time – in full*) – отгружено/доставлено в полном объеме. Рассчитаем показатель *OTIF* для исследуемых автотранспортных предприятий - АТП Приморского края, приведенный в таблице 4.

Таблица 4.

**Показатели *OTIF* для автотранспортных предприятий Приморского края (по результатам анализа за 2019 год)**

Предприятие	OT	OF	OTIF
Bus-Курьер ООО	0,62	1	62,00%
ТК Энергия ООО	0,64	0,95	60,80%
Чемпион ООО	0,66	0,98	64,68%
Деловые линии ООО	0,7	0,94	65,80%
Транс Трек-ДВ ООО	0,58	1	58,00%
Атлантида ООО	0,54	0,96	51,84%
Первая грузовая компания ООО	0,56	0,97	54,32%
Роял ООО	0,72	1	72,00%
VL Logistik ООО	0,67	1	67,00%
Термокон Групп ООО	0,52	1	52,00%
Pony Express	0,51	1	51,00%
СДЭК ООО	0,56	0,95	53,20%
КурьерСервисЭкспресс	0,59	0,98	57,82%
Грузовое такси	0,54	0,96	51,84%
Транс Трек-ДВ ООО	0,55	0,98	53,90%
Русские Транспортные Линии ООО	0,58	0,94	54,52%
Транс Лоджистик ООО	0,55	0,98	53,90%
Fanat Logistic ООО	0,56	0,99	55,44%
CargoUssur ООО	0,55	0,97	53,35%
Все дороги ООО	0,74	1	74,00%
Мобил Груз ООО	0,52	0,99	51,48%
Fesco Автоперевозки ООО	0,63	1	63,00%
Грузовозофф ООО	0,6	1	60,00%
Стафф Лизинг ООО	0,62	1	62,00%
Экспресс ООО	0,64	1	64,00%

Как следует из данных таблицы 4, общее влияние показателя своевременности при высоком коэффициенте полноты отгрузки для клиента является незначительным при условии  $OF \rightarrow 1$ , при понижении данного компонента общего показателя *OTIF* влияние более существенно.

Для проведения расчетов были собраны данные о продолжительности выполнения отдельных операций и определены соответствующие статистические характеристики. Для апробации разработанной модели были проведены расчеты по критерию своевременности по основным маршрутам Приморского края:

Владивосток – порт Восточный (междугородная доставка) – контейнерная перевозка;

Владивосток – Спасск-Дальний – междугородная автомобильная перевозка;

г. Уссурийск – Находка – междугородная автомобильная перевозка;

Централизованная перевозка внутри г. Владивостока (кольцевой развозочный маршрут).

### Выводы

Для принятия обоснованных и адекватных решений в процессе управления мультимодальным транспортным процессом существует необходимость автоматизации работы специалистов, отвечающих за работу грузового автомобильного транспорта. Использование представленной модели позволит определить рекомендуемые параметры временных интервалов, в течение которых автотранспортное средство находится в режиме ожидания, простоя, работы на линии или постановки под погрузку-разгрузку, а также сократить объем обрабатываемой специалистом информации и принять решение на основе уже рассчитанных показателей.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о необходимости создания единого подхода к критериям своевременности, который в настоящее время выражается комплексом показателей, не связанных между собой, но имеющих общее направление.

Авторами статьи предложена математическая модель для расчета отклонений нормируемого времени доставки груза (вероятность отклонений). Эти показатели оценивают отклонение времени прибытия автотранспортного средства, максимальное превышение от заданного критерия, а также их количественные значения (срывы поставок).

Приведен порядок и интерпретация получаемых результатов согласно теории нормального распределения. Предложена схема моделирования транспортных операций (на примере междугородных мультимодальных перевозок).

Разработанная модель выполняет также функции инструмента контроля своевременности доставки, исходя из представленного алгоритма, рассчитывая предложенный показатель *OTIF*. В случае отклонения автомобиля в процессе движения от планового задания, полученные зависимости позволяют перейти от управления оперативного к управлению ситуационному.

### Литература

1. Баукова Н.Г., Карпова М.И., Киселева В.Ю., Кривобород Л.Н., Филонова Е.А., Храмова В.А. // Транспорт в Приморском крае. Статистический сборник. - Приморскстат, 2019. – 37 с.

2. Глущенко В.В. Сервисология как методическая основа развития технического сервиса на транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/servisologiya-kak-metodicheskaya-osnova-razvitiya-tehnicheskogo-servisa-na-transporte/viewer> (Дата обращения: 01.10.2020).

3. Cambridge Systematics inc. 1988. Urban Gridlock Study: Technical Report. Sacramento, USA: California Department of Transportation.

4. Browne M., Allen J., Wainwright I., Palmer A. & Williams I. London 2012: changing delivery patterns in response to the impact of the Games on traffic flows. - International Journal of Urban Sciences, 2014. -18. - 244-261.

5. Майзнер Н.А., Коваленко Ю.В. Рынок транспортно-логистических услуг Приморского края: проблемы и тенденции развития // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. ISSN 1999-2645. — №1 (57). – Режим доступа: <https://eee-region.ru/article/5711/> (Дата обращения: 01.10.2020).

### Сведения об авторах

**Володькин Павел Павлович**, д.т.н., профессор, ORCID 0000-0002-2731-2069, Scopus Author ID 57190293264, Researcher ID, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»,

Россия, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская 136, ауд. 214 лк.

Тел. (4212) 37-51-93

E-mail: PVolodkin@mail.khstu.ru/

**Рыжова Александра Сергеевна**, к.э.н., доцент, ORCID 0000-0002-1995-5961, Scopus Author ID, Researcher ID, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»,

Россия, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская 136, ауд. 214 лк.

Тел. (4212) 37-51-93

E-mail: chefra@mail.ru

**Архипов Сергей Александрович**, старший преподаватель, Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток.

E-mail: asaw0@mail.ru