

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

С. А. АЗЕМША, ассистент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАРШРУТИЗАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ**

Актуальной проблемой в области организации и планирования международных автомобильных перевозок грузов является проблема выбора оптимальной обратной перевозки. В настоящее время решение о принятии к перевозке того или иного груза осуществляется менеджерами перевозчиков на основе интуитивных, базирующихся на личном опыте работы умозаключений. При этом в качестве критериев маршрутизации используются отдельные технико-эксплуатационные или экономические показатели работы автомобильных транспортных средств. В результате этого выполняется перевозка, экономический эффект от которой не максимален.

В данной статье предлагается новый критерий оценки эффективности перевозочного процесса. С помощью методов математической статистики и имитационного моделирования определяются оптимальные параметры ожидания обратной загрузки. Для снижения трудоемкости работ и затрат времени на выбор оптимальной обратной перевозки разработан программный продукт.

Проблема повышения эффективности перевозок грузов автомобильным транспортом наиболее остро проявляется в условиях жесткой конкуренции между различными видами транспорта, а также между самими автоперевозчиками. При этом необходимо отметить, что в существующих условиях понятие «эффективность» должно максимально отражать экономический интерес перевозчика. Поэтому основной целью данной работы является разработка мероприятий по повышению экономического эффекта от работы автомобильных транспортных средств (АТС) на международных маршрутах. Достичь данной цели предполагается за счет разработки методики выбора оптимальной обратной перевозки.

Постановка задачи. Современные тенденции в области организации и планирования международных перевозок грузов автомобильным транспортом характеризуются активным использованием средств коммуникаций. На базе компьютерной сети INTERNET существуют информационно-транспортные порталы, в которых содержатся заявки от грузовладельцев на перевозку грузов. Имея доступ в INTERNET, перевозчик может найти груз, транспортировка которого максимально удовлетворяет его интересам. То есть проблема поиска грузов частично решена. Однако наряду с этим, приобретает актуальность новая задача – выбор из множества альтернативных вариантов загрузок, предлагаемых к перевозке, такого груза, транспортировка которого даст наибольший эффект. Данная задача обусловлена большим количеством заявок на перевозку грузов, ежедневно размещаемых в информационно-транспортных порталах. Поставленная задача усложняется отсутствием фиксированных ставок фрахта за перевозку, что не позволяет производить маршрутизацию по отдельным технико-эксплуатационным или экономическим показателям работы АТС. Графическая иллюстра-

ция процесса появления заявок на перевозку грузов приведена на рисунке 1.

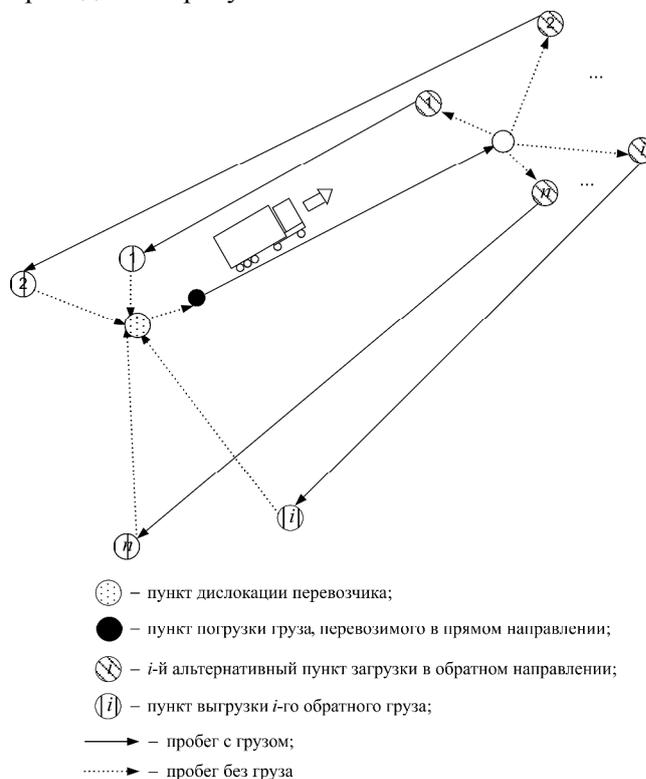


Рисунок 1 – Схема образования заявок на перевозку грузов

Из рисунка 1 видно, что в процессе выполнения перевозки груза в прямом направлении появляются заявки на перевозку грузов в обратном направлении. Каждый груз, предлагаемый к перевозке в обратном направлении, характеризуется своим потоком информации, который необходимо обработать менеджеру по перевозкам. Вся информация о предъявляемых к перевозке грузах аккумулируется на сервере транспортно-информационных порталов и является основой для принятия решения о том, какой груз следует перевезти.

Схема информационных потоков, возникающих при организации и планировании перевозок грузов, приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема информационных потоков

Из рисунка 2 видно, что информация о предъявляемых к перевозке грузах поступает от грузовладельца на транспортно-информационный портал. Данная информация включает в себя следующие сведения: время и место предъявления груза к перевозке, ставка фрахта за перевозку, требуемый тип кузова АТС, масса и объем предъявляемого груза и т. д. Взаимодействуя с сервером, менеджер перевозчика рассматривает предлагаемые к перевозке грузы. Каждый предложенный груз является альтернативным вариантом транспортировки и должен быть рассмотрен менеджером перевозчика. На основании имеющейся информации менеджер принимает решение о перевозке того или иного груза. Основная проблема состоит в том, что нет обоснованных рекомендаций по выбору конкретной перевозки из множества альтернативных вариантов. Решение о принятии к перевозке того или иного груза принимается менеджером автоперевозчика на основе практического опыта и ряда отдельных критериев: минимум времени простоя в ожидании обратной загрузки, значение ставки

фрахта не ниже средней величины на данном направлении, минимум порожнего пробега и т. д.

Таким образом, для повышения эффективности перевозок грузов автомобильным транспортом необходимо разработать:

- комплексный критерий эффективности, отражающий технико-эксплуатационные и экономические стороны перевозочного процесса;

- методику выбора оптимальной перевозки из множества альтернативных вариантов загрузок.

Метод решения задачи. В качестве критерия маршрутизации международных автомобильных перевозок грузов предлагается использовать удельную прибыль [1]. Данный показатель показывает прибыль, получаемую автоперевозчиком в единицу времени на единицу грузоподъемности АТС и в развернутом виде выглядит следующим образом:

$$\Pi_{уд} = \frac{V_{\tau}(L_{ег}(\beta d_{уд} - C_{пер}) + T_{пр.св}d_{пр})}{q(L_{ег} + \beta V_{\tau}(t_{пр} + t_{\tau} + T_{пр.св} + T_{ож}))} - \frac{C_{пост}}{q}, \quad (1)$$

где V_{τ} – средний пробег автомобиля за единицу времени движения; $L_{ег}$ – пробег автомобиля с грузом за время работы на маршруте; β – коэффициент использования пробега автомобиля; $d_{уд}$ – удельная выручка за единицу пробега. Она зависит от грузоподъемности требуемого для перевозки автомобильного транспортного средства и может быть аппроксимирована линейной зависимостью $d_{уд} = a_{0уд} + a_{1уд}q_{\tau}$; $C_{пер}$ – переменные затраты на единицу пробега. Эти затраты зависят от грузоподъемности транспортного средства и фактического его использования:

$$C_{пер} = a_{0пер} + a_{1пер}q(1 + a_{2пер}\beta\gamma_{ст});$$

$T_{пр.св}$ – ожидаемое время сверхнормативного простоя под грузовыми операциями по вине заказчика; $d_{пр}$ – оплата за единицу времени сверхнормативного простоя под грузовыми операциями по вине заказчика. Она может быть представлена также линейной зависимостью от грузоподъемности требуемого автомобиля

$$d_{пр} = a_{0пр} + a_{1пр}q_{\tau};$$

q – грузоподъемность транспортного средства, т; $t_{пр}$ – нормативное время на загрузку-разгрузку автомобильного транспортного средства; t_{τ} – ожидаемая длительность простоев при контроле и документальном оформлении (на таможнях и др.); $T_{ож}$ – предполагаемая продолжительность ожидания обратной загрузки; $C_{пост}$ – постоянные затраты за единицу времени работы. Эти затраты зависят в основном от грузоподъемности автомобильного транспортного средства

$$C_{\text{пост}} = a_{0\text{пост}} + a_{1\text{пост}}q;$$

q_T – требуемая грузоподъемность транспортного средства, т; $a_{0\text{уд}}$, $a_{1\text{уд}}$, $a_{0\text{пер}}$, $a_{1\text{пер}}$, $a_{2\text{пер}}$, $a_{0\text{пр}}$, $a_{1\text{пр}}$, $a_{0\text{пост}}$, $a_{1\text{пост}}$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Данный критерий максимально отражает интересы перевозчика и учитывает технико-эксплуатационные и экономические стороны перевозочного процесса.

Проведенные исследования позволили установить, что управляемыми параметрами в выражении (1) являются коэффициент использования пробега, длина ездки с грузом, требуемая грузоподъемность транспортного средства и время ожидания обратной загрузки [2]. Дальнейшие исследования [3] позволили выдвинуть гипотезу о зависимости между четырьмя указанными управляемыми параметрами. Это связано с тем, что с увеличением времени ожидания обратной загрузки будет увеличиваться число потенциальных перевозок в обратном направлении, а следовательно, и будут изменяться значения остальных трех управляемых параметров. На основании обработки 858 маршрутов работы АТС, полученных с сайта www.belcargo.com, был определен общий вид этих зависимостей (для направления Республика Беларусь – Российская Федерация), а также оптимальное время ожидания обратной загрузки, равное 15 ч [4–6].

Полученное время является средним и не отражает специфических сторон перевозочного процесса при работе АТС на различных маршрутах. Так, например, можно предположить, что на продолжительность времени ожидания обратной загрузки будет оказывать влияние длина ездки с грузом в прямом направлении и интенсивность появления заявок на перевозку грузов в обратном направлении в пункте прямой выгрузки. То есть, можно сказать, что чем дальше АТС удалено от места своей постоянной дислокации, тем больше времени оно может ожидать обратную загрузку с целью “улучшения” значений управляемых параметров. В то же время, чем чаще появляются заявки на перевозку грузов в обратном направлении в пункте прямой выгрузки, тем меньше времени АТС должно простаивать в ожидании перевозки.

Следует отметить, что в качестве оптимизируемого параметра выступает время, затрачиваемое на ожидание обратной загрузки, при котором будет достигаться максимум удельной прибыли. Полученных результатов достаточно с точки зрения оптимизации суммарного времени, затрачиваемого на ожидание обратной загрузки. Однако их недостаточно для определения времени ожидания

заявки, в которой будет предложена оптимальная обратная загрузка. Для пояснения можно разложить время ожидания обратной загрузки на составляющие:

$$T_{\text{ож}} = t_2 - t_1 + t_3 - t_2 - \Delta t_{\text{дв}}, \quad (2)$$

где t_2 – момент появления заявки о предъявленном к перевозке грузе; t_1 – момент высвобождения АТС от предыдущей перевозки; t_3 – дата отгрузки предъявляемого груза; $\Delta t_{\text{дв}}$ – время на проезд от места последней выгрузки к месту очередной загрузки. Данный параметр может быть определен как отношение длины порожнего пробега к среднему пробегу автомобильного транспортного средства за принятую единицу времени (час), т. е.

$$\Delta t_{\text{дв}} = \frac{l_{\text{пп}}}{l_{\text{сч}}}.$$

Как видно, в данном выражении параметр t_2 сокращается, и в результате

$$T_{\text{ож}} = t_3 - t_1 - \Delta t_{\text{дв}}.$$

Полученное выражение позволяет определить суммарное время, связанное с ожиданием обратной загрузки. Этот факт более очевиден исходя из выражения (2): первая разность ($t_2 - t_1$) есть время ожидания появления заявки в информационной системе, а вторая ($t_3 - t_2 - \Delta t$) – время, затрачиваемое на ожидание момента предъявления обратного груза вследствие преждевременного прибытия АТС под обратную загрузку. Причем, если первая разность будет меньше нуля, то это означает, что заявка появилась раньше освобождения автомобиля от прямой перевозки, и, следовательно, время ожидания появления заявки будет равно нулю. Если же вторая разность будет меньше нуля, то это значит, что АТС на данную загрузку не успевает. Таким образом, с практической точки зрения необходимо определить оптимальное время ожидания появления заявки на перевозку груза в обратном направлении. Для этого необходимо определить зависимость разности ($t_2 - t_1$) от параметров АТС и перевозочного процесса. Указанную разность можно назвать временем ожидания появления оптимальной заявки ($T_{\text{ож.опт.заявки}}$).

Для поиска зависимости между временем ожидания появления оптимальной обратной загрузки, длиной первого груженого пробега и интенсивностью появления заявок в пункте прямой выгрузки было обработано 1215 маршрутов работы АТС. Достаточный размер выборки при этом составляет 800 маршрутов. Корреляционно-регрессионный анализ позволил найти следующую зависимость:

$$T_{\text{ож.заявки.опт}} = \frac{606 - 98\sqrt{L_{\text{ср1}}} - 169708N_{\text{уд}}^3 + 14990N_{\text{уд}} - 4826\sqrt{N_{\text{уд}}} - 23\ln(N_{\text{в.пр}})}{394 + 98\sqrt{L_{\text{ср1}}} + 169708N_{\text{уд}}^3 - 14990N_{\text{уд}} + 4826\sqrt{N_{\text{уд}}} + 23\ln(N_{\text{в.пр}})}, \quad (3)$$

где $L_{ег1}$ – длина ездки с грузом в прямом направлении, км; $N_{в.пр}$ – интенсивность появления заявок на перевозку грузов в обратном направлении в пункте прямой выгрузки, ед/ч; $N_{уд}$ – удельная частота появления загрузок, расположенных на некотором расстоянии от пункта выгрузки, ед/ч.

При планировании обратной загрузки возможны случаи, когда оптимальная обратная ездка появляется раньше времени ожидания, полученного исходя из выражения (3). Поэтому альтернативный указанному методу определения оптимальной обратной ездки способ должен позволять принимать решение сразу после появления той или иной заявки. С этой целью для указанной выборки рассмотрена зависимость между удельной прибылью и коэффициентом использования пробега, который обеспечивает максимум выбранного критерия эффективности. Данное значение степени использования пробега можно назвать достаточным коэффициентом использования пробега. Можно выдвинуть гипотезу о том, что значение достаточного коэффициента использования пробега зависит от длины ездки с грузом в прямом направлении, т. е. $\beta_{дост} = f(L_{ег1})$. Уравнение регрессии в данном случае выглядит следующим образом:

$$\beta_{дост} = -0,679 + 0,298 \ln(L_{ег1} - 50) - 0,016 \sqrt{L_{ег1} - 50}. \quad (4)$$

При этом коэффициент корреляции равен 0,63, критерий Фишера равен 185,11, что позволяет сделать вывод о достаточной значимости полученной регрессионной модели.

Рассмотрено предположение о том, что достаточный коэффициент использования пробега зависит не только от длины ездки с грузом в прямом направлении, но и от времени простоя АТС в ожидании появления оптимальной обратной загрузки. Данная зависимость представлена в выражении (5). При этом коэффициент корреляции равен 0,58, критерий Фишера – 125,68, что позволяет сделать вывод о достаточной значимости полученной регрессионной модели.

$$\beta_{дост} = 1/(5,3 - 0,93 \ln(L_{ег1} - 50) - 0,0005(L_{ег1} - 50) + 0,088 \sqrt{L_{ег1} - 50} - 0,012 T_{ож.з} + 0,035 \sqrt{T_{ож.з}}). \quad (5)$$

При использовании выражения (5) может быть получено достаточное значение коэффициента использования пробега меньше 0,5, в этом случае следует принять его равным 0,5.

Проведенные исследования позволили выделить несколько стратегий поведения при поиске обратной загрузки АТС. Определить оптимальную из них можно путем моделирования работы АТС при различных стратегиях поведения. Всего рас-

смотрено семь стратегий. Характеристика данных стратегий приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика стратегий принятия решения о выборе оптимальной обратной ездки при моделировании работы АТС

Номер стратегии	Принцип формирования альтернативных вариантов обратных загрузок	Критерий эффективности
1	Рассматриваются заявки, поступившие в информационную систему до момента освобождения АТС от прямой перевозки	Суммарная прибыль АТС за оборот
2	То же	Удельная прибыль АТС за оборот
3	Рассматриваются заявки, поступившие в информационную систему на протяжении заранее заданного времени после момента освобождения АТС от прямой перевозки	Суммарная прибыль АТС за оборот
4	То же	Удельная прибыль АТС за оборот
5	Рассматриваются заявки, поступившие в информационную систему на протяжении времени, рассчитанного из выражения (3)	То же
6	Рассматриваются заявки, поступающие в информационную систему в хронологическом порядке их появления	Достаточный коэффициент использования пробега [выражение (4)]
7	Рассматриваются заявки, поступающие в информационную систему в хронологическом порядке их появления	То же [выражение (5)]

Анализ полученных результатов. При разработке рекомендаций по принятию решения о выборе рациональной стратегии поведения при определении оптимальной обратной ездки следует учесть, что при моделировании работы АТС не учитывалось время «актуальности» заявки, расположенной в информационной системе, под которым следует понимать период времени между появлением заявки в информационной системе и моментом принятия груза, предлагаемого данной заявкой к перевозке. В существующих информационных системах время «актуальности» не отображается. Поэтому при моделировании работы АТС предполагалось, что время «актуальности» заявок не ограничено, т. е. при принятии решений по стратегиям 1–5 рассматриваемый круг заявок ограничивался лишь допустимым временем ожидания появления заявки в информационной системе. Из полученного путем таких ограничений множества возможных заявок выбирается оптимальная по принятому критерию. Однако на практике, в то время как перевозчик ожидает истечения оптимального времени ожидания появления заявки, тот груз, перевозка которого даст максимальный эффект, может быть уже принят к перевоз-

ке конкурентом. Поэтому целесообразным будет использование в планировании обратных перевозок стратегии 6, которая позволяет максимально быстро принимать решение о принятии груза к перевозке на основании достаточного значения коэффициента использования пробега. Экономический эффект по сравнению с вариантом работы по стратегии 1, отражающим используемый на практике алгоритм принятия решения о выборе рациональной перевозки, будет составлять порядка 4 млн руб. в год с одного транспортного средства.

Практическая ценность разработанной методики заключается в обоснованном определении параметров ожидания обратной загрузки, используя которую на практике можно получить ответ на вопрос, какой из предложенных в настоящее время к перевозке грузов принять или стоит подождать появления другой, более рациональной перевозки. Однако применение данной методики сопряжено с выполнением значительного количества расчетов. Так, ежедневно необходимо просчитывать до нескольких десятков вариантов загрузок для каждого АТС, определять себестоимость перевозки и технико-эксплуатационные показатели работы транспортного средства при каждом варианте загрузки.

С целью снижения затрат времени и труда на проведение расчетов по определению оптимальной перевозки разработана компьютерная программа *ARMS (The automated router on-machine sendings)*, представляющая собой автоматизированную систему по выбору оптимальных маршрутов работы АТС при перевозке грузов помашинными отправлениями.

Выводы. В данной статье рассмотрена актуальная проблема повышения эффективности международных автомобильных перевозок грузов. Поставленная цель достигается последовательным решением ряда задач:

- получение критерия маршрутизации – удельной прибыли, комплексно учитывающего технико-эксплуатационные и экономические показатели работы АТС;
- обоснование параметров ожидания оптимальной обратной загрузки;
- снижение трудоемкости работ и затрат времени на маршрутизацию перевозок грузов путем автоматизации данного процесса.

В качестве критерия оптимальности перевозочного процесса предложена удельная прибыль, отражающая прибыль, получаемую автоперевозчиком в единицу времени на единицу грузоподъемности АТС. Целевая функция представляет

Получено 10.11.2008

S. A. Azemsha. Optimization routing of international cargo transporting.

Actual problem in the field of the organization and planning international automobile cargoes transportations is the problem of a choice optimum return transportation. Now the decision on acceptance to transportation of this or that cargo is accepted by carriers managers on the basis of intuitive conclusions based a personal operational experience. Thus as criteria of routing separate technical or economic working parameters work of automobile vehicles are used. As a result of this are carried out transportation, economic benefit from which is not maximal.

In given article the new criterion which made it possible to estimate efficiency of transportation process is offered. By means of mathematical statistics methods and imitating modelling optimum parameters of expectation return loading are defined. The software product is developed for reduction in labour works input and time expenses for a choice optimal return transportation.

собой максимум выбранного критерия эффективности, анализ факторов, влияющих на значение которой, и поиск зависимости выбранного критерия эффективности перевозочного процесса от управляемых параметров позволил разработать шесть стратегий принятия решения о выборе рациональной обратной перевозки. Проведенное статистическое моделирование позволило выбрать оптимальную стратегию, основанную на применении достаточного коэффициента использования пробега. Экономический эффект от использования предлагаемой методики достигает 2 тыс. дол. с каждого АТС в год.

С целью упрощения практического применения предложенной методики маршрутизации разработана компьютерная программа. Она позволяет снизить трудоемкость расчетов и затраты времени на их выполнение.

Основным преимуществом предложенного в статье способа повышения эффективности международных автомобильных перевозок грузов является получение значительного эффекта без капитальных вложений.

Список литературы

- 1 **Аземша, С. А.** Критерии оптимальности для маршрутизации магистральных автомобильных перевозок грузов с учетом разновременности отправок / С. А. Аземша, В. Н. Седюкевич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, апрель–май 2004 г.: в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б. М. Хрусталев [и др.]. – Минск, 2004. – Т. 1. – С. 279–281.
- 2 **Аземша, С. А.** Выбор управляемых параметров критерия эффективности магистральных грузовых автомобильных перевозок / С. А. Аземша // Литва без науки – Литва без будущего: сб. тез. докл. 7-й конф. молодых ученых Литвы, Вильнюс, 12 мая 2005 г. / Вильнюсский техн. ун-т; редкол.: О. Прентковский [и др.]. – Вильнюс, 2005. – С. 306–311.
- 3 **Аземша, С. А.** Определение зависимости между управляемыми параметрами критерия эффективности магистральных автомобильных перевозок автомобильным транспортом / С. А. Аземша // «Транспорт и связь». Сер. 1. Транспорт. – 2005. – № 4. – С. 36–50 (Рижский ин-т трансп. и связи).
- 4 **Аземша, С. А.** Стратегия принятия решения при выборе обратной загрузки автомобильного транспортного средства, работающего на международных маршрутах / С. А. Аземша // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. / Харьковская нац. акад. городского хозяйства; редкол.: Д. Ф. Гончаренко [и др.]. – Харьков, 2006. – С. 307–314.
- 5 **Azemsha, S.** Methods of optimization of rotational latency of the inverse loading of trucks on international routes / S. Azemsha // TRANSPORT–2006. – Vol. XXI. – No 3. – P. 182–188.
- 6 **Аземша, С. А.** Обоснование оптимального времени ожидания обратной загрузки автомобильного транспортного средства при работе на международных маршрутах / С. А. Аземша // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. : Наука и транспорт. – 2006. – № 1–2. – С. 94–97.