

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОГРАНИЧНО-ТАМОЖЕННОГО ТЕРМИНАЛА КАК ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСГРАНИЧНОЙ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Р.Б. Ивуть, Ю.А. Копко

Белорусский национальный технический университет.

Одним из направлений вхождения экономики Республики Беларусь, и транспортного комплекса в частности, в систему международных экономических отношений является развитие трансграничного транспортного сотрудничества.

Этому способствует целый ряд факторов, таких как близость стран Центральной и Западной Европы, приграничность территории, удобность ландшафта, выгодность транспортного положения страны.

Беларусь фактически является транзитным государством, а автомобильная дорога М1/Е30 Брест -Минск - граница России является участком Критского коридора №2 объединяющего Польшу, Беларусь и Россию и определяемого ЕС наиболее приоритетным среди Критских коридоров в связи с важным значением проходящих по нему торговых потоков с Востоком и Западом.

Одной из конкретных целей приграничного сотрудничества является обеспечение прозрачности границ в интересах упрощенного обмена и свободного общения между людьми.

Тем не менее, серьезной проблемой остается увеличение пропускной способности через переходы на белорусско-польской границе и границе ЕС.

Кроме того, пограничные переходы характеризуются недостаточно высоким уровнем развития культурно - бытовой инфраструктуры – мест для отдыха и ночлега водителей, автостоянок, станций техобслуживания и других объектов приграничного сервиса. В результате происходит загрязнение окружающей среды, обостряется социальная и криминогенная обстановка.

С целью устранения таких негативных явлений и создания основ современных транспортно-логистических систем на границе Бела-

руси проектируются и возводятся погранично- таможенные терминалы как основы будущих трансграничных транспортно-логистических систем. (ТТЛС). Их создание и перспективное развитие требует применения современных методов анализа и экономико-математического моделирования при определении параметров эффективности ТТЛС. Для этих, целей существуют известные и апробированные на практике экономико-математические методы и модели, классифицируемые по применяемому в них типу математического аппарата как:

- матричные модели;
- модели линейного программирования;
- модели нелинейного программирования;
- корреляционно-регрессионные модели;
- модели сетевого планирования;
- модели теории игр и другие.

В результате анализа возможных критериев эффективности ТТЛС сделан вывод о необходимости использования натурального критерия - пропускной способности ТТЛС. Этот критерий полностью соответствует критериям эффективности, принятым в теории массового обслуживания.

Трансграничная транспортно-логистическая система может быть изображена в виде следующей схемы массового обслуживания, смотрите - рис.1.

Потоком заявок в нашем случае выступают грузовые автомобили, идущие на границу и требующие соответствующего обслуживания различного типа. Под блоком обслуживания понимаются таможенно-пограничные каналы, на которых автомобиль подвергается основным процедурам досмотра и получает разрешение на выезд за пределы территории государства. Таких каналов может быть достаточно много, однако количество их ограничивается пропускной способностью пограничного перехода или терминала.

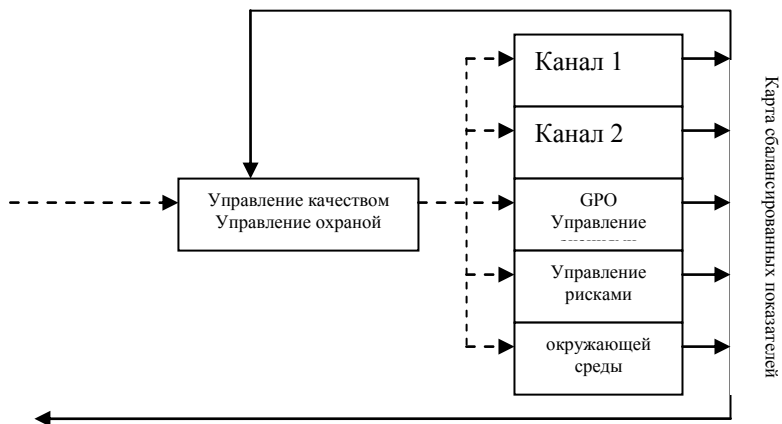


Рис.1. Схема обслуживания автомобилей на границе

Формирование потоков заявок носит случайный характер, так как грузопотоки и их интенсивность являются параметрами изменяемыми, зависящими от политических, экономических, сезонных, климатических и других факторов. Случайный характер носит также форма и содержание заявки, то есть тип и марка автомобиля, а также тип, сорт, масса, габариты и другие параметры грузов. Например, грузы могут быть скоропортящиеся, требующие приоритетного обслуживания. Могут быть грузы, вызывающие подозрение и требующие дополнительного осмотра. Машины с неправильно оформленными документами возвращают обратно, следовательно заявка получает отказ.

В соответствии с теорией массового обслуживания поток автомобилей на терминале является стационарным, упорядоченным и с отсутствием последствия, т.е. простейшим потоком Пуассона. Зная основные характеристики пуассоновского потока, определяются следующие параметры грузового таможенно- пограничного терминала как системы массового обслуживания:

- среднее время ожидания обслуживания;
- среднее количество автомобилей в очереди;
- средняя длина очереди;
- вероятность того, что в системе находится определенное число автомобилей;

- вероятность того, что будут заняты все системы обслуживания;
- среднее количество свободных каналов ( что практически не бывает на границе);
- среднее число каналов, занятых обслуживанием;
- коэффициент обслуживания каналов.

Системы массового обслуживания (СМО) в общем плане определяется как системы специального вида, реализующие многократное выполнение однотипных задач, использующиеся во многих областях экономики, финансов, производства и сбыта (в основном, это различные предприятия и организации сферы услуг). [1,2]

Каждая СМО включает в свою структуру некоторое число обслуживающих устройств, которые называют каналами (приборами, линиями) обслуживания. Роль каналов могут играть различные приборы, машины, специальное оборудование, а также лица, выполняющие те или иные операции, например, пограничный контроль СМО могут быть одно - и многоканальными.

Каждая СМО предназначена для обслуживания некоторого потока заявок (требований) поступающих на вход системы большей частью не регулярно, а в случайные моменты времени. Обслуживание заявок длится случайное время, которое зависит от многих случайных неизвестных причин. После обслуживания заявки канал освобождается и готов к приему следующей заявки. Случайный характер потока заявок и времени обслуживания приводит к неравномерной загруженности СМО: в некоторые промежутки времени на входе СМО могут скапливаться не обслуженные заявки, что приводит к перегрузке СМО, в некоторые же другие интервалы времени при свободных каналах на входе СМО заявок не будет, что приводит к недогрузке СМО, т.е. к простаиванию ее каналов. Заявки скапливаются на входе СМО, либо становятся в очередь, либо по какой-либо причине покидают ее не обслуженными. Таким образом, в СМО можно выделить следующие основные элементы:

1. Входящий поток – поступающие автомашины;
2. Очередь на канале обслуживания;
3. Каналы обслуживания;
4. Выходящий поток обслуженных заявок.

Каждая система не зависимо от своих параметров – характера потока заявок, числа каналов обслуживания и их производительности

сти, а так же от правил организации работы, обладает определенной эффективностью функционирования ( пропускной способностью), позволяющей ей более или менее успешно справляться с потоком заявок.

Цель моделирования ТТЛС с помощью теории массового обслуживания - выработка рекомендации по рациональному построению ТТЛС, рациональной организации их работы и регулированию потока заявок для обеспечения высокой эффективности ее функционирования.

В качестве характеристик эффективности функционирования СМО можно выбрать 3 основные группы (обычно средних) показателей:

1. Показатели эффективности использования СМО:

1.1. Абсолютная пропускная способность СМО - среднее число заявок, которое сможет обслужить СМО в единицу времени.

1.2. Относительная пропускная способность СМО - отношение среднего числа заявок, обслуживаемых СМО в единицу времени, к числу поступивших заявок за это же время.

1.3. Средняя продолжительность периода занятости СМО.

1.4. Коэффициент использования СМО - средняя доля времени, в течении которого СМО занята обслуживанием заявок, и т.п.

2. Показатели качества обслуживания заявок:

2.1. Среднее время ожидания заявки в очереди;

2.2. Среднее время пребывания заявки в СМО;

2.3. Вероятность отказа заявке в обслуживании без ожидания;

2.4. Вероятность того, что поступившая заявка немедленно будет принята к обслуживанию;

2.5. Закон распределения времени ожидания заявки в очереди;

2.6. Закон распределения времени ожидания заявки в СМО;

2.7. Среднее число заявок, находящихся в очереди;

2.8. Закон распределения времени ожидания заявки в СМО и т.д.

3. Показатели эффективности функционирования пары "СМО - потребитель".

Случайный характер потока заявок и длительности их обслуживания порождает в СМО случайный процесс (функция) - соответствие при котором каждому значению аргумента ставится в соответствие случайная величина.

Поэтому для решения задач СМО необходимо изучить этот процесс, т.е. построить и проанализировать его математическую модель.

Математическое изучение функционирования СМО упрощается, если протекающий в ней процесс является марковским (или процесс без последствий) - если вероятность любого состояния СМО в будущем зависит только от ее состояния в настоящем и не зависит от ее состояния в прошлом. В результате удастся выразить в явном виде основные характеристики эффективности функционирования СМО, через параметры СМО, потока заявок и дисциплины работы СМО.

Чтобы случайный процесс был марковским, необходимо и достаточно чтобы все потоки событий, под воздействием которых происходят переходы системы из одного состояния в другое, были пуассоновскими. Такими потоками являются потоки, обладающие свойствами отсутствия последствий (для любых 2 непересекающихся промежутков времени число событий, наступающих за одним из них не зависит от числа событий, наступающих за другим) и ординарностью (вероятность наступления за элементарно малый промежуток времени более 1 события пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью наступления в этот промежуток времени 1 события)

Таким образом если поток событий является регулярным (т.е события в нем следуют одно за одним через строго определенные промежутки времени), то он не может являться пуассоновским. Далее рассматриваемые СМО будем считать марковскими.

В пуассоновском стационарном (т е вероятность наступления того или иного числа событий за какой-либо промежуток времени зависит только от длины этого промежутка, а не от момента его начала) потоке  $\Pi$  (простейшем) случайная величина  $T$  (промежуток времени между различными двумя соседними событиями), распределена по показательному закону (дифференциальная функция распределения):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (t \geq 0), \quad (1)$$

где  $\lambda$  - параметр этого распределения и интенсивности потока.

Если вывод системы  $S$  из какого-либо ее состояния  $S_i$  происходит под воздействием нескольких простейших потоков, то непре-

рывная случайная величина  $T$ , представляющая собой время пребывания системы (подряд) в данном состоянии  $S_i$ , также распределена по показательному закону, в котором  $\lambda$  - суммарная интенсивность всех потоков, выводящих систему  $S$  и данного состояния  $S_i$ .

Здесь и далее будем полагать, что каждый канал одновременно может обслуживать только одну заявку и, если не оговорено специально, каждая находящаяся под обслуживанием заявка обслуживается только одним каналом. Многоканальные СМО могут состоять из однородных, либо из разнородных каналов, отличающихся длительностью обслуживания одной заявки. Время обслуживания каналом одной заявки  $T_{об}$  является непрерывной случайной величиной. Но при условии абсолютной однородности поступающих заявок и каналов  $T_{об}$  может быть и величиной постоянной ( $T_{об} = const$ ). В принципе, существуют нормативы для погранично-таможенного досмотра автомобилей, однако конкретные условия досмотра обычно создают отклонения от этих нормативов. По дисциплине обслуживания СМО делится на 3 класса:

1. СМО с отказами (с нулевым ожиданием или явными потерями), в которых заявка, поступившая на вход СМО в момент, когда все каналы заняты, получает «отказ» и покидает СМО («пропадает») Чтобы эта заявка все же была обслужена, она должна снова поступить на вход в СМО и рассматриваться как заявка, поступившая впервые. Примером может быть машина, не подготовленная к досмотру и отправленная на подготовку.

2. СМО с ожиданием (неограниченным ожиданием или очередью) заявка становится в очередь и ожидает освобождения канала, который примет ее к обслуживанию.

3. СМО смешанного типа (с ограниченным ожиданием). Это системы в которых на пребывание заявки в очереди накладываются некоторые ограничения.

Эти ограничения могут накладываться на длину очереди, т. е. максимально возможное число заявок, которые одновременно могут находиться в очереди. Ограничения могут касаться времени пребывания заявки в очереди, по истечении которого она выходит из очереди и покидает систему, либо касаться общего времени пребывания заявки в СМО (т.е. суммарного времени пребывания заявки в очереди под обслуживанием).

В СМО с ожиданием и смешанного типа применяются различные схемы обслуживания заявок из очереди. Обслуживание может быть упорядоченным (обслуживание заявок по мере их поступления) и неупорядоченным (обслуживание в случайном порядке). Иногда применяется так называемое обслуживание с приоритетом.

По ограничению потока заявок СМО делятся на: замкнутые и открытые (разомкнутые). Если поток заявок ограничен и заявки, покинувшие систему, могут в нее возвращаться, то СМО является замкнутой в противном случае - открытой.

По количеству этапов обслуживания: однофазные и многофазные. Если каналы СМО однородны (выполняют одну и ту же операцию обслуживания), то такие СМО называются однофазными, например, погранично - таможенные каналы на ТТЛС. Если каналы расположены последовательно и они неоднородны так как выполняют разные операции обслуживания, то СМО называются многофазной (например, обслуживание автомобилей на станции технического обслуживания).

Исходя из данной классификации видно, что трансграничная логистическая система на примере таможенного перехода относится к многоканальной СМО с отказами, другими словами, структура её достаточно сложна.

Исследуем работу СМО, которая состоит из конечного числа  $m$  каналов обслуживания. Каждый канал (аппарат) обслуживает одновременно только одну заявку (автомобиль). Если в момент поступления очередной заявки все аппараты обслуживания заняты, тогда она ожидает в очереди. Поток заявок ограничен, т.е. в системе может одновременно оказаться не больше чем  $n$  заявок ( $n > m$ ). Заявки поступают независимо друг от друга.

Система может находиться в одном из бесконечного множества состояний:

- несколько каналов заняты и очереди нет;
- все каналы заняты и в очереди  $n$  заявок.

Известно, что этот процесс не является стационарным, потому что в начале этого процесса ограничение числа заявок не оказывает влияния на него, зато после продолжительного промежутка времени без сомнения будет иметь значение.



Решение данной задачи будет происходить в так называемом стационарном промежутке, то есть после достаточно длительного времени от момента начала процесса.

Теоретические и практические характеристики являются основными критериями эффективности моделируемых логистических процессов, как систем массового обслуживания.

Погранично-таможенный терминал рассматривается как СМО, состоящая из  $n$  каналов обслуживания с ожиданием и без ограничения на длину очереди. Автомобиль, поступивший на терминал в момент, когда все  $n$  каналов были заняты, становится в очередь и ожидает своего обслуживания. Все пришедшие автомобили должны быть обслужены. Поток автомобилей  $P_{вх}$  и поток услуг, предоставленный каждый погранично-таможенным каналом  $P_{об}$ , является простейшим. При этом известны следующие параметры:

- Число погранично-таможенных каналов -  $n \geq 1$ ;
- Интенсивность постановки автомобиля на обслуживание -  $P_{вх} = \lambda = \text{const}$ ;
- Производительность каждого канала в сутки -  $P_{об} = \mu = \text{const}$  ;
- Максимальная длина очереди -  $m = + \infty$
- Соотношение между -  $n, \lambda, \mu$

$$\lambda < n, \mu \tag{2}$$

Необходимо определить главные характеристики функционирования терминала как системы массового обслуживания:

1. Показатель загрузки терминала – трафик:

$$\rho = \lambda \cdot n \tag{3}$$

2. Указатель загрузки одного канала:

$$\psi = \rho \cdot n \tag{4}$$

3. Вероятность отказа в обслуживании:  $P_{отк} = 0$ ;

4. Вероятность того, что автомобиль будет обслужен:  $P_{тер} = 1$ ;

5. Пропускная способность:  $A = \lambda$

6. Среднее число автомобилей, находящихся под обслуживанием:

$$\bar{K} = \bar{N}_{об} = p (< n) \quad (5)$$

7. Среднее число автомобилей, находящихся в очереди:

$$\bar{N}_{об} = \frac{n^n}{n!} \frac{\psi_{n+1}}{(1-\psi)^2} \rho_0 \quad (6)$$

8. Среднее время обслуживания одного автомобиля:

$$\bar{O}_{ia} = p / \lambda = 1/\mu \quad (7)$$

Такой тип системы, как погранично-таможенный терминал требует многофакторного и трудоемкого изучения её функционирования, сложных математических расчетов и тщательного анализа статистических данных.

Кроме того, для разработки эффективно работающей модели необходима информация о регламентации показателей работы системы данного вида, предлагающая государственную важность, а по этой причине доступ к ней ограничен (например, время обслуживания одного грузового автомобиля внутри системы, максимальное число мест в очереди, и т.д.). Пограничные переходы Беларуси имеют исключительное, а в будущем и решающее значение, при надлежащем использовании заложенного в нем потенциала для дальнейшего развития всей страны.

Для решения задачи определения необходимой пропускной способности ТТЛС необходимо разрабатывать соответствующее программное обеспечение, позволяющее установить число каналов, необходимых для обслуживания поступающих на терминал автотранспортных единиц в соответствии с заданной дисциплиной очереди. Повышение эффективности трансграничных логистических систем означает, прежде всего, увеличение их пропускной способ-

ности, которая является одной из типовых характеристик систем массового обслуживания, что позволяет моделировать функционирование ТТЛС как многоканальной системы массового обслуживания с отказами.

Моделирование такой системы осуществляется при помощи классических методов теории массового обслуживания, что позволяет определить количество каналов обслуживания на погранично-таможенном терминале.

### Список литературы

1. Бочаров, П.П., Печинкин, А.В. Теория массового обслуживания.-М.: изд-во Российский университет дружбы народов, 1995. – 398с.
2. Лабскер, Л.Г.,Бабешко П.О. Теория массового обслуживания в экономической сфере. Учебное пособие для вузов.- М.: Банки и биржи: ЮНИТИ, 1998. – 319 с.
3. Ивуть, Р.Б., Нарушевич ,С.А. Логистика Минск: БНТУ, 2004. – 328 с.
4. Стаханов, В.Н., Стаханов, Д.В. Таможенная логистика. - М.: Приор, 2001.-96с.

УДК 613. 02

## **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНЗИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА БЕЛАРУСИ**

Д.М. Антюшеня

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В перечне национальных приоритетов особое место отводится наращиванию объемов транзитных и экспортных перевозок.

Республика Беларусь не обладает достаточными собственными топливно-энергетическими и сырьевыми ресурсами, но благодаря развитой инфраструктуре и благоприятному географическому положению, является своеобразным интегрирующим звеном в торговле между государствами Европейского Союза и Азиатско-Тихоокеанского региона, что позволяет рассматривать транзит в