

Научная статья
 DOI: 10.15593/24111678/2023.03.01
 УДК 625.712.63+341.222.4

В.С. Шиковский

ООО «Геолайт», Москва, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВМЕСТИМОСТИ СТОЯНОК НА УЧАСТКАХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ, ПРИМЫКАЮЩИХ К ПУНКТАМ ПРОПУСКА ЧЕРЕЗ ГОСУДАРСТВЕННУЮ ГРАНИЦУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С целью сбалансированного развития эффективной транспортной инфраструктуры, увеличения пропускной способности многосторонних автомобильных пунктов пропуска, упорядочения их функционирования и повышения уровня комфорта прохождения процедур при пересечении государственной границы разработана методика определения вместимости накопительных стоянок на подходах к автомобильным пунктам пропуска, предназначенных для стоянки автотранспортных средств, ожидающих очереди въезда в пункт пропуска и пересечения государственной границы Российской Федерации. Раскрыто понятие автомобильного пункта пропуска как системы массового обслуживания с накопителем и дискретным характером функционирования. Установлено, что вместимость накопительных стоянок на подходах к пунктам пропуска следует определять с учетом интенсивности движения транспортных средств и состава транспортного потока на участках автомобильных дорог, примыкающих к пунктам пропуска со стороны Российской Федерации, и пропускной способности самого пункта пропуска, а также с учетом случайных параметров времени проведения контрольных операций, распределенных по экспоненциальному закону. Ограничением выступает максимально допустимое время проведения государственного контроля, значения которого установлены в Технологической схеме пункта пропуска. В результате исследований разработана математическая модель, позволяющая определять необходимую и достаточную вместимость накопительных стоянок для транспортных средств, ожидающих пропуска через государственную границу. Приведен пример апробации методики расчета вместимости накопительной стоянки для отдельного многостороннего автомобильного пункта пропуска на основании фактических данных об интенсивности и составе движения транспортных средств на участке автомобильной дороги, примыкающей к пункту пропуска, подтверждающий ее адекватность.

Ключевые слова: автомобильная дорога, пункты пропуска, накопительные стоянки, вместимость, пропускная способность, интенсивность движения, транспортный поток, система массового обслуживания, длина очереди.

V.S. Shikovsky

LLC «Geolight», Moscow, Russian Federation

DETERMINATION OF PARKING CAPACITY ON SECTIONS OF ROADS ADJACENT TO CHECKPOINTS ACROSS THE STATE BORDER OF THE RUSSIAN FEDERATION

In the article, with the aim of balanced development of an efficient transport infrastructure, increasing the capacity of multilateral automobile checkpoints, streamlining their functioning and increasing the level of comfort in passing procedures when crossing the state border, a methodology has been developed for determining the capacity of accumulative parking lots at the approaches to automobile checkpoints intended for parking vehicles, waiting in line to enter the checkpoint and crossing the state border of the Russian Federation. The article reveals the concept of an automobile checkpoint as a queuing system with a drive and a discrete nature of functioning. It has been established that the capacity of accumulative parking lots at the approaches to checkpoints should be determined considering the traffic intensity of vehicles and the composition of the traffic flow on sections of roads adjacent to checkpoints from the Russian Federation, and the throughput of the checkpoint itself, as well as considering random time parameters of control operations, distributed according to the exponential law. The limitation is the maximum allowable time for the state control, the values of which are set in the Technological scheme of the checkpoint. As a result of the research, a mathematical model has been developed that allows determining the necessary and sufficient capacity of accumulative parking lots for vehicles waiting to pass through the state border. An example of approbation of the methodology for calculating the storage parking capacity for a separate multilateral automobile checkpoint based on actual data on the intensity and composition of vehicle traffic on the section of the road adjacent to the checkpoint is given, confirming its adequacy.

Keywords: road, automobile checkpoints, accumulative parking, capacity, throughput, traffic intensity, traffic flow, queuing system, queue length.

Актуальность решения вопросов организации накопительных площадок на подходах к пунктам пропуска

Процессы прибытия и убытия транспортных средств на международных пунктах пропуска связаны с проблемой ожидания прохождения контроля на погранпереходах. Длина очереди, измеряемая количеством грузовых транспортных средств, на отдельных пунктах пропуска по данным Федеральной таможенной службы составляет от 300 до 700 единиц и более [1].

Одним из основных вопросов развития транспортной инфраструктуры пунктов пропуска через государственную границу Российской Федерации (далее – пункты пропуска) и автомобильных дорог, примыкающих к ним, направленных на увеличение пропускной способности и предотвращения образования на проезжей части дорог очередей транспортных средств, ожидающих пропуска через государственную границу, является организация накопительных стоянок транспортных средств достаточной вместимости. Действующие в дорожной отрасли нормы устанавливают требования только к необходимости размещения накопительных площадок (стоянок), которые отнесены к объектам дорожного сервиса. Следует отметить, что Коллегией Евразийской экономической комиссии разработаны рекомендации № 9 от 24.04.2013 «О разделении транспортных потоков в автомобильных пунктах пропуска через таможенную границу Таможенного союза и на подъездах к ним», согласно которым необходимо «...создавать накопительные стоянки для транспортных средств в непосредственной близости от пунктов пропуска с вместимостью, определяемой исходя из суточной пропускной способности пунктов пропуска».

С этой целью Минтранс России ведется плановая работа по оснащению федеральных дорог на подходах к автомобильным пунктам пропуска площадками для размещения грузовых транспортных средств. Ожидается, что к 2027 г. подходы не менее чем 13 многосторонних автомобильных пунктов пропуска (МАПП) будут обеспечены такими площадками в результате строительства новых или реконструкции и капитального ремонта существующих площадок [2].

Обустраиваемые площадки по сути являются стоянками транспортных средств и относятся к элементам обустройства автомобильной дороги. Следует отметить, что строительство накопительных стоянок большой вместимости в непосредственной близости от пунктов пропуска может быть нецелесообразно из-за значительных финансовых расходов на выкуп земель, строительство и последующую эксплуатацию, а в отдельных случаях – невозможно ввиду географического положения.

Вопрос об определении необходимой и достаточной вместимости стоянок, соизмеримой с суточной пропускной способностью пунктов пропуска, нормативно не урегулирован и в сложившихся условиях очень актуален. Критерием устройства накопительной стоянки является факт наличия уровня загрузки пункта пропуска движением выше его расчетной среднесуточной пропускной способности (за исключением пиковых значений). До 2021 г. в дорожной отрасли при расчете вместимости площадок для размещения грузовых транспортных средств существовала практика применения федеральными казенными учреждениями, подведомственными Федеральному дорожному агентству, положений Приказа Росавтодора от 12.12.2016 № 2124 «Об утверждении положения о генеральной схеме размещения объектов дорожного сервиса и многофункциональных зон дорожного сервиса вдоль автомобильных дорог общего пользования федерального значения» (Приложение 2). Однако применение к объекту настоящего исследования содержащихся в приказе методических подходов определения мощности площадок некорректно без учета особенностей и параметров транспортных потоков и процессов функционирования пунктов пропуска, например, таких, как пропускная способность и интенсивность движения по участку автомобильной дороги, примыкающей к пункту пропуска, и через пункт пропуска.

Для определения вместимости накопительных площадок особый интерес будет представлять разница между интенсивностью поступления и обслуживания заявок, то есть между интенсивностями поступающего и покидающего пункт пропуска потоками транспортных средств.

Вместимость накопительных площадок на подходах к пунктам пропуска предлагается определять по формуле (1):

$$M = (N / 24) \cdot W, \quad (1)$$

где M – вместимость накопительных площадок, определяемая количеством парковочных мест; 24 – количество часов в сутки, ч; W – средняя продолжительность ожидания пропуска транспортным средством (пребывание на накопительной площадке), ч; N – среднее количество автомобилей на накопительной площадке за сутки, авт./сут.

Среднее количество автомобилей на накопительной площадке в сутки может быть определено по формуле (2):

$$N = 1 \cdot (\lambda - \mu), \quad (2)$$

где 1 – одни сутки; λ – интенсивность транспортного потока по участку автомобильной дороги, примыкающему к пункту пропуска (нагрузка), авт./сут; μ – пропускная способность (загрузка) пункта пропуска, авт./сут.

Считается целесообразным определение показателей для расчета необходимой вместимости накопительных стоянок произвести на основании модели функционирования пункта пропуска в виде системы массового обслуживания.

Определение автомобильного пункта пропуска в виде системы массового обслуживания

С точки зрения теории массового обслуживания автомобильный пункт пропуска представляет собой систему, состоящую из одного или нескольких каналов пропуска (шлюзов), в которых подъезжающие транспортные средства (заявки) проходят государственный контроль для пересечения государственной границы [3–6]. Совокупность подъезжающих к пункту пропуска транспортных средств, распределенных во времени, образует транспортный поток, который является потоком заявок, поступающих в систему. Накопительная стоянка на участке автомобильной дороги, примыкающая к пункту пропуска, будет выступать в качестве накопителя определенной емкости, в котором находятся заявки, образующие очередь и ожидающие обслуживания. Продолжительность проведения контрольных операций при пропуске через государственную границу Российской Федерации транспортных средств представляет собой время нахождения автомобиля в шлюзе пункта пропуска или время обслуживания заявки.

Транспортное средство, проехавшее по участку автомобильной дороги к пункту пропуска, может находиться в двух состояниях:

- в состоянии прохождения государственного контроля в пункте пропуска;
- в состоянии ожидания (на накопительной стоянке).

Транспортные средства, ожидающие прохождения государственного контроля на стоянке, образуют очередь, а их количество определяет так называемую «длину очереди».

При анализе процесса функционирования пункта пропуска, если не оговорено другое, следует использовать следующие предположения:

- транспортное средство, поступившее в пункт пропуска, мгновенно попадает на контрольные процедуры, если шлюз свободен;
- в одном шлюзе на обслуживании в каждый момент времени может находиться только одно транспортное средство;
- после завершения контроля в шлюзе очередное транспортное средство выбирается на контроль из очереди мгновенно, то есть, другими словами, шлюз не простаивает, если в очереди есть хотя бы одна заявка;
- поступление транспортных средств в пункт пропуска и длительность их обслуживания не зависят от того, какое количество транспортных средств уже находится в пункте пропуска, или от каких-либо других факторов;

– длительность проведения контрольных операций для транспортных средств не зависит от интенсивности их поступления к пункту пропуска, то есть от интенсивности движения транспортных средств по участку автомобильной дороги, примыкающему к пункту пропуска.

Определение характера транспортного потока

Поток автомобилей, проезжающих по участку автомобильной дороги, примыкающему к пункту пропуска, описывается интервалами времени между соседними моментами t_{k-1} и t_k поступления транспортных средств с порядковыми номерами $(k-1)$ и k соответственно ($k = 1, 2, \dots$):

$$\tau_k = t_k - t_{k-1}. \quad (3)$$

Основной характеристикой потока транспортных средств является его интенсивность, λ , то есть среднее число автомобилей, проходящих через сечение участка автомобильной дороги за единицу времени [7–11]. Величина a , обратная интенсивности, определяет средний интервал времени между двумя последовательными транспортными средствами:

$$a = 1 / \lambda. \quad (4)$$

Поток транспортных средств является случайным (стохастическим) потоком [12; 13], так как интервалы времени τ_k между соседними автомобилями являются случайными величинами, и его можно описать одним из законов распределений случайных величин:

$$A_k = f(\tau_k). \quad (5)$$

Поток транспортных средств считаем простейшим, так как он обладает такими свойствами, как стационарность, ординарность и отсутствие последействия [14; 15].

Установлено, что поток транспортных средств является стационарным, так как интенсивность λ и закон распределения $A_k(\tau_k)$ интервалов между последовательными автомобилями не меняются со временем.

Поток транспортных средств ординарен, так как в каждый момент времени t_k для обслуживания в одном шлюзе может приниматься только одно транспортное средство.

Поток транспортных средств является потоком без последействия, так как автомобили прибывают к пункту пропуска независимо друг от друга, то есть момент прибытия очередного транспортного средства в пункт пропуска не зависит от того, когда и сколько транспортных средств прибыло до этого момента.

Интервалы времени τ между транспортными средствами в простейшем потоке распределены по экспоненциальному закону с функцией распределения (6):

$$A_k(\tau_k) = 1 - e^{-\lambda \tau}, \quad (6)$$

где $\lambda > 0$ – параметр распределения, представляющий собой интенсивность потока транспортных средств.

Простейший поток часто называют пуассоновским [12; 16; 17], поскольку число транспортных средств k , поступающих за некоторый заданный промежуток времени t , распределено по закону Пуассона. При этом пуассоновский поток, в отличие от простейшего, может быть как стационарным, если интенсивность не меняется со временем, то есть $\lambda = \text{const}$, так и нестационарным, если интенсивность потока зависит от времени: $\lambda = \lambda(t)$. Последнее положение характерно для пунктов пропуска, работа которых носит нерегулярный характер. В то же время простейший поток по определению всегда является стационарным.

Для достоверности сравнения двух потоков, потока поступления и потока обработки заявок, необходимо, чтобы поток обслуживания заявок также был простейшим.

Определение продолжительности проведения контрольных операций

Время нахождения транспортного средства в шлюзе пункта пропуска практически равно продолжительности проведения контрольных операций и является величиной случайной, которая описывается функцией $B(\tau)$ или плотностью распределения:

$$b(\tau) = B'(\tau). \quad (7)$$

В случае неоднородной нагрузки на пункт пропуска, которая зависит от характера международного сообщения (пассажирский, грузовой, грузопассажирский), продолжительность проведения контрольных операций разных типов транспортных средств (легковые, грузовые, автобусы) может различаться законами распределений или только средними значениями. В процессе проводимых исследований установлено, что случайные значения продолжительности проведения контрольных операций подчиняются экспоненциальному закону, и, соответственно, процессы государственного контроля, протекающие в пункте пропуска с экспоненциальным распределением интервалов времени, являются Марковскими.

Среднее число автомобилей, которое может пройти государственный контроль за единицу времени (сутки), можно представить как интенсивность прохождения пункта пропуска μ , которая является величиной, обратной средней продолжительности проведения контрольных операций b , и определяется по формуле (8):

$$\mu = 1 / b. \quad (8)$$

При произвольном законе распределения продолжительности проведения контрольных операций для определения средних значений характеристик достаточно задать кроме математического ожидания b второй момент распределения (дисперсию) или коэффициент вариации v_b случайной величины.

Время T_0 , оставшееся до завершения прохождения контроля транспортным средством (время дообслуживания) от момента поступления на контроль другого транспортного средства, будет учитывать и возможные простои пункта пропуска, когда на момент поступления транспортного средства в пункте пропуска все шлюзы будут свободны. Математическое ожидание этого времени определяется по формуле (9):

$$M[T_0] = \lambda \cdot b^2 \cdot (1 + v_b^2) / 2, \quad (9)$$

где λ – интенсивность простейшего потока транспортных средств, подъезжающих к пункту пропуска по примыкающему участку дороги; b – математическое ожидание продолжительности проведения контрольных операций; v_b – коэффициент вариации случайной величины продолжительности проведения контрольных операций (при экспоненциальном законе v_b , принимаем равным 1).

Характеристики грузопассажирских пунктов пропуска

В проводимых исследованиях пункт пропуска как система массового обслуживания рассматривается в установившемся или стационарном режиме, когда вероятностные характеристики его функционирования (в частности, пропускная способность) не изменяются со временем. Неустановившийся режим работы пункта пропуска может быть обусловлен началом работы пункта после периода закрытия (с некруглосуточным и некруглогодичным режимом работы), когда значения характеристик функционирования, меняясь со временем, стремятся в пределе к стационарным значениям, в рамках настоящего исследования не рассматривается. Кроме этого, для решения задач, направленных на определения вместимости накопительных стоянок, рассматривается функционирование пункта пропуска только по направлению на выезд из государства.

Для грузопассажирских пунктов пропуска с неоднородным потоком транспортных средств, в которые поступают три различных типа транспортных средств: автобусы, легковые и

грузовые автомобили, с интенсивностями λ_i и средними значениями продолжительности проведения контрольных операций b_i , в зависимости от количества шлюзов в пункте пропуска определяют две группы характеристик:

– при разделении транспортного потока по типам транспортных средств – характеристики отдельно по каждому типу;

– при отсутствии разделения транспортного потока – характеристики объединенного (суммарного) потока транспортных средств.

Характеристики по каждому типу транспортного средства: $i = \overline{1, H}$, здесь H – число типов:

– нагрузка y_i , создаваемая транспортным средствам i -го типа:

$$y_i = \lambda_i / \mu_i = \lambda_i \cdot b_i; \quad (10)$$

– время T_p для пункта пропуска с K обслуживающими шлюзами определяется путем усреднения времени работы T_i по всем шлюзам:

$$T_p = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K T_i, \quad (11)$$

где T_i – время работы шлюза $i = \overline{1, K}$.

– вероятность перенесения очереди прохождения государственного контроля транспортным средством i -го типа на следующие сутки:

$$\pi_{ni} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{N_{ni}(T)}{N_i(T)}, \quad (12)$$

где T – время работы пункта пропуска (сутки); $N_i(T)$ – число транспортных средств, поступивших к пункту пропуска за сутки; $N_{ni}(T)$ – число транспортных средств, не успевших пройти контроль за сутки;

– вероятность проведения контроля транспортного средства i -го типа, то есть вероятность того, что поступившее к пункту пропуска транспортное средство пройдет государственный контроль за рассматриваемый период (сутки):

$$\pi_{0i} = (1 - \pi_{ni}) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{N_{0i}(T)}{N_i(T)}, \quad (13)$$

где $N_{0i}(T)$ – число транспортных средств i -го типа, прошедших государственный контроль за сутки, причем:

$$N_{ni}(T) + N_{0i}(T) = N_i(T) \quad (14)$$

и $\pi_{0i} + \pi_{ni} = 1. \quad (15)$

Для пункта пропуска с зоной ожидания достаточной вместимости, сопоставимой с суточной пропускной способностью, при условии отсутствия перегрузок вероятность того, что транспортное средство не пройдет за время T (сутки) государственный контроль и не пересечет границу, равна нулю, и, следовательно, производительность пункта пропуска совпадает с интенсивностью поступления транспортных средств в пункт пропуска:

$$\mu_i = \lambda_i. \quad (16)$$

Очевидно, сумма интенсивностей потоков транспортных средств, прошедших контроль μ_i , то есть пересекших границу, и оставшихся в очереди в зоне ожидания μ_i' , равна интенсивности транспортных средств, проходящих по участку автомобильной дороги, примыкающему к пункту пропуска:

$$\mu_i + \mu_i' = \lambda_i; \quad (17)$$

– интенсивность потоков транспортных средств, прошедших государственный контроль для пересечения границы государства (производительность по i -му типу транспортных средств):

$$\mu_i = \pi_{0i} \cdot \lambda_i = (1 - \pi_{ni}) \cdot \lambda_i; \quad (18)$$

– интенсивность потока транспортных средств, не прошедших контроль за сутки:

$$\mu_i' = \pi_{ni} \cdot \lambda_i = (1 - \pi_{0i}) \cdot \lambda_i; \quad (19)$$

– загрузка системы, создаваемая транспортным средством i -го типа:

$$\rho_i = \min [(1 - \pi_{ni}) \cdot y_i / K_i; 1], \quad (20)$$

где π_{ni} – вероятность перенесения очереди прохождения государственного контроля транспортным средством i -го типа на следующие сутки (следующий временной интервал); K_i – число шлюзов в пункте пропуска для отдельного типа транспортных средств. Приведенное выражение можно трактовать следующим образом:

– если пункт пропуска работает без перегрузки: $\rho_i = (1 - \pi_{ni}) \cdot y_i / K_i$;

– если пункт пропуска перегружен: $\rho = 1$;

– время ожидания в очереди для прохождения транспортным средством контрольных операций: w_i . Указанное время подлежит определению для каждого конкретного пункта пропуска в зависимости от интенсивности транспортного потока, количества шлюзов и продолжительности проведения контрольных операций;

– время, затраченное транспортным средством i -го типа на пересечение государственной границы, складывающееся из времени ожидания w_i и продолжительности проведения контрольных операций b_i :

$$u_i = w_i + b_i; \quad (21)$$

– длина очереди транспортных средств i -го типа:

$$l_i = \mu_i \cdot w_i; \quad (22)$$

– число автомобилей, желающих пересечь государственную границу (в очереди и на государственном контроле в пункте пропуска):

$$m_i = \lambda_i \cdot u_i. \quad (23)$$

Качество функционирования пункта пропуска будет характеризоваться двумя основными характеристиками – нагрузкой и загрузкой.

Нагрузка представляет собой интегральную оценку, объединяющую два нагрузочных параметра: частоту поступления транспортных средств на контроль, задаваемую в виде интенсивности λ_i подъезжающих транспортных средств к пункту пропуска, и время прохождения государственного контроля, задаваемое в виде средней продолжительности проведения контрольных операций b_i :

$$y_i = \lambda_i \cdot b_i. \quad (24)$$

Нагрузка показывает количество автомобилей, которое необходимо пропустить через пункт пропуска за сутки. Если значение нагрузки $y < 1$, то заданная нагрузка может быть выполнена пунктом пропуска с имеющимся количеством шлюзов, то есть пункт пропуска будет работать без перегрузки. Если $y > 1$, то реализация заданной нагрузки в пункте пропуска приведет к режиму перегрузки, означающему, что с течением времени все большее число транспортных средств будет оставаться в очереди, и в даже в случае наличия накопительной стоянки достаточной вместимости очередь транспортных средств перед пунктом пропуска для прохождения контроля и пересечения государственной границы будет расти неограниченно.

Работа пункта пропуска без перегрузок обеспечивается наличием достаточного количества шлюзов, обеспечивающих фактическую интенсивность движения по примыканию к пункту пропуска и, как следствие, его пропускную способность. При этом количество шлюзов должно быть больше, чем значение нагрузки:

$$K > y. \quad (25)$$

В общем случае для объединенного потока при определении загрузки для любого пункта пропуска, функционирующего в течение достаточно большого промежутка времени работы T , когда $T \rightarrow \infty$:

– $N(T) = \lambda \cdot T$ – среднее количество транспортных средств, прибывающих к пункту пропуска (здесь λ – интенсивность потока транспортных средств на выезд из государства);

– $N_0(T) = (1 - \pi_n) \cdot \lambda \cdot T$ – среднее количество транспортных средств, которые подвергнутся государственному контролю;

– $N_n(T) = \pi_n \cdot \lambda \cdot T$ – среднее количество транспортных средств, которые составляют очередь на подходах к пункту пропуска.

Государственный контроль транспортных средств будет длиться в течение времени:

– $T_p = (1 - \pi_n) \cdot \lambda \cdot T \cdot b$, здесь b – средняя продолжительность проведения контрольных операций – если пункт пропуска с одним шлюзом;

– $T_p = ((1 - \pi_n) \cdot \lambda \cdot T \cdot b) / K$ – если пункт пропуска с несколькими K шлюзами.

Тогда загрузка пункта пропуска может быть определена по формуле:

$$\rho = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T_p}{T} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{(1 - \pi_n) \cdot \lambda \cdot T \cdot b}{K \cdot T} = \frac{(1 - \pi_n) \cdot \lambda \cdot b}{K} = \frac{\mu \cdot b}{K}. \quad (26)$$

Следует отметить, что загрузка пункта пропуска, в отличие от нагрузки, определяется через интенсивность только прошедших государственный контроль транспортных средств, поскольку транспортные средства на накопительной стоянке еще ожидают очереди на контроль и временно не загружают пункт пропуска.

Вероятность перенесения очереди прохождения государственного контроля на следующие сутки (следующий временной интервал) с зоной ожидания недостаточной вместимости может быть рассчитана по известному значению загрузки пункта пропуска по формуле:

$$\pi_n = (\lambda - \mu) / \lambda = 1 - \mu / \lambda. \quad (27)$$

В то же время из (26) вытекает, что интенсивность обслуженных в пункте пропуска транспортных средств:

$$\mu = \rho \cdot K / b. \quad (28)$$

Подставляя последнее выражение в предыдущее, получим:

$$\pi_n = 1 - \rho \cdot K / \lambda \cdot b = 1 - (\rho / y) \cdot K, \quad (29)$$

где $y = \lambda \cdot b$ – нагрузка системы.

Вероятность проведения контроля транспортного средства, поступившего в пункт пропуска:

$$\pi_0 = 1 - \pi_n = (\rho / y) \cdot K. \quad (30)$$

Выражение (29) может быть использовано в Марковских моделях систем массового обслуживания при определении характеристик обслуживания заявок.

Характеристики объединенного потока транспортных средств позволяют определить усредненные по всем типам показатели эффективности функционирования пункта пропуска, для которых справедливы те же соотношения (21)–(23), что и для однородного потока.

Определение длины очереди в пункт пропуска и вместимости накопительной стоянки

Одной из основных задач при определении вместимости накопительных стоянок является определение средней продолжительности пребывания транспортных средств на стоянке в ожидании пропуска (время ожидания в очереди). При анализе модели функционирования пункта пропуска за временной период приняты сутки – 24 ч. При увеличении времени ожидания более 24 ч считается, что транспортное средство проходит государственный контроль в следующий

временной период – следующие сутки. Соответственно, время ожидания в очереди или продолжительность пребывания транспортных средств на стоянке в ожидания проведения контрольных операций w_i будет находиться в интервале $w_i = [0; 24]$.

При условии превышения нагрузки пункта пропуска над его загрузкой, то есть, когда количество транспортных средств, которое необходимо пропустить через пункт пропуска, больше его пропускной способности (загрузки), для первого транспортного средства в начальный момент времени $t_0 = 0$ время ожидания будет также равно нулю $w_0 = 0$, и шлюз заполнен. Далее по мере прибытия других транспортных средств время ожидания будет определяться как разница между продолжительностью проведения контрольных операций b и интервалом времени τ_k между соседними моментами поступления ТС к пункту пропуска. При установившемся режиме функционирования пункта пропуска для случайного ТС из их потока среднее время ожидания может быть определено по формуле:

$$w_i = (b_i - \tau_{ki}) \cdot k, \quad (31)$$

где b_i – средняя продолжительность проведения контрольных операций, ч; k – количество транспортных средств, пройденных по участку дороги на случайный момент времени t_i от начала суток; τ_{ki} – средний интервал времени между моментами поступления транспортных средств, ч:

$$\tau_{ki} = 1 / (\lambda / 24) = 24 / \lambda, \quad (32)$$

где λ – суточная среднегодовая интенсивность транспортных средств на участке дороги, примыкающей к пункту пропуска (так как $\lambda = \text{const}$).

Количество транспортных средств k , пройденных по участку дороги на случайный момент времени t_i (время работы пункта пропуска от начала суток):

$$k = t_i \cdot \lambda / 24. \quad (33)$$

Тогда среднее время ожидания:

$$w_i = (b_i - \tau_{ki}) \cdot t_i \cdot \lambda / 24. \quad (34)$$

После преобразования, получим:

$$w_i = (b_i - 24/\lambda_i) \cdot t_i \cdot \lambda/24 = t_i \cdot [b_i \cdot \lambda/24 - 1] = t_i \cdot [(24 \cdot 1/\mu) \cdot (\lambda/24) - 1] = t_i \cdot [(\lambda/\mu) - 1]. \quad (35)$$

С учетом параметров транспортного потока, состоящего из различных типов $i = \overline{1, H}$ транспортных средств и, соответственно, различной продолжительности проведения контрольных операций, среднюю продолжительность пребывания транспортных средств в зоне ожидания (время ожидания) определяем по формуле:

$$W_i = \sum_{i=1}^H t_i \cdot \left(\frac{b_i \cdot \lambda_i}{24} - 1 \right) = \sum_{i=1}^H t_i \cdot \left(\frac{24 \cdot \lambda_i}{\mu_i \cdot 24} - 1 \right) = \sum_{i=1}^H t_i \cdot \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i} - 1 \right). \quad (36)$$

С учетом вышеизложенного преобразуем формулу (1) и определим вместимость зоны ожидания:

$$M = \sum_{i=1}^H \left(\frac{\lambda_i - \mu_i}{24 \cdot K} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i} - 1 \right) \cdot t_i, \quad (37)$$

где λ_i – интенсивность транспортного потока по участку автомобильной дороги, примыкающей к пункту пропуска, для транспортного средства i -го типа, авт./сут.; μ_i – пропускная способность пункта пропуска по транспортному средству i -го типа, авт./сут.; K_i – число шлюзов в пункте пропуска для i -го типа ТС, ед.; t_i – максимально допустимое время государственного контроля в пункте пропуска, ч; 24 – количество часов в сутки, ч; H – количество типов транспортных средств в потоке, ед.

Следует учитывать, что в формуле (37) за случайный момент времени t_i от начала суток принимается максимально допустимое время государственного контроля, которое регламентируется индивидуально по типам транспортных средств для каждого пункта пропуска в Технологической схеме организации пропуска через государственную границу Российской Федерации, то есть в установившемся режиме работы за указанное время, когда одно транспортное средство проходит государственный контроль, вновь прибывшие транспортные средства должны быть обеспечены местом для ожидания своей очереди.

Апробация методики расчета

Расчет вместимости накопительной стоянки для размещения транспортных средств, ожидающих очереди в пункт пропуска, по формуле (28) проведем на примере участка автомобильной дороги А181, примыкающего к МАПП «Торфяновка» на км 204+768. Прибор учета интенсивности движения установлен на участке А181 км 190+417. К анализу приняты показатели за период наблюдений с 01.08.2020 по 31.08.2020. Максимально допустимое время проведения государственного контроля в МАПП «Торфяновка» принято на основании технологической схемы: для автобусов – 1 ч, для легкового автотранспорта – 1 ч 30 мин, для грузового автотранспорта – 3 ч.

На основании фактической средней суточной интенсивностей движения транспортных потоков по типам и пропускной способности пункта пропуска (интенсивность пропуска транспортных средств), а также количества шлюзов в направлении на выезд из Российской Федерации определим в вместимости зоны ожидания (таблица).

Исходные данные и результаты расчета

Тип транспортного средства	Фактическая интенсивность транспортных средств (на выезд из государства)		Количество шлюзов на пункте пропуска на выезд из государства	Количество транспортных средств, M , которые необходимо поместить на стоянку		
	движения λ_i , ед./сут.	пропуска μ_i , ед./сут.		за 1 ч	за время t_i , ч	за сутки
Грузовое	549	223	7	3	9	68
Пассажирское	66	28	1	3	3	52
Легковое	1481	1077	4	2	3	38
M_{Σ}				8	15	158

Таким образом, исходя из фактической среднесуточной интенсивности движения ТС и пропускной способности пункта пропуска, минимально необходимая вместимость стоянки должна составлять 158 автомобилей. Следует отметить, что в настоящее время перед МАПП «Торфяновка» расположена демпферная площадка на 396 машино-мест, площадью 60 500 м².

Заключение

Для целей настоящего исследования с точки зрения теории массового обслуживания автомобильный пункт пропуска через государственную границу представлен как система массового обслуживания с накопителем. Определено, что оценку вместимости накопительных стоянок, расположенных в непосредственной близости от пунктов пропуска, следует производить на основании сравнения интенсивности транспортных средств, поступающих на пункт пропуска, и пропускной способности самого пункта пропуска, а также с учетом случайных параметров времени проведения контрольных операций, распределенных по экспоненциальному закону и не превышающих значения, установленные в Технологической схеме пункта пропуска.

Разработана математическая модель, позволяющая определять необходимую и достаточную вместимость накопительных стоянок для транспортных средств, ожидающих пропуска через государственную границу, исходя из суточной пропускной способности пунктов пропуска, в соответствии с рекомендацией Коллегией Евразийской экономической комиссии от 24.04.2013 № 9.

Проводимые исследования направлены на повышение пропускной способности автомобильных пунктов пропуска и улучшения условий предоставления комплексной инфраструктурной услуги для транспортных средств и физических лиц при пересечении граница государства.

Список литературы

1. Сведения о загруженности автомобильных пунктов пропуска [Электронный ресурс]. – Текст: электронный // Федеральная таможенная служба: [сайт]. – URL: <https://customs.gov.ru/checkpoints> (дата обращения: 17.03.2023).
2. О внесении изменений в План мероприятий по оснащению автомобильных дорог общего пользования федерального значения на подходах к автомобильным пунктам пропуска через государственную границу Российской Федерации площадками для размещения грузовых транспортных средств вместимостью, сопоставимой с суточной пропускной способностью пункта пропуска, утвержденный приказом Минтранса России от 8 апреля 2021 г. № 121: Приказ Минтранса России от 29.10.2021 № 372. – М., 2021.
3. Полянская С.В., Ульзетуева Д.Д. Моделирование транспортных потоков на основе компьютерной обработки статистических данных // Государство и бизнес. Современные тенденции и проблемы развития экономики: материалы XIII междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: Изд-во Северо-Запад. ин-та управл. – ф-ла РАНХиГС, 2021. – С. 208–221.
4. Эглит Я.Я., Цивелева М.А. Моделирование процессов совершения таможенных операций и проведения таможенного контроля на транспорте как системы массового обслуживания // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9, № 2. С. 288–295.
5. Афонин П.Н., Топкова И.А. Особенности имитационного моделирования пропускной способности автомобильного пункта пропуска [Электронный документ] // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2012. – № 12 (48).
6. Абдирасилов Ж.М., Шуренов М.К., Жуматаев К.Т. Применение теории систем массового обслуживания для определения оптимальной загрузки пункта взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспортов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2008. – № 6 (55). – С. 113–117.
7. Определение интенсивности транспортных потоков при помощи системы баллов карт пробок / Р.В. Андронов [и др.] // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 5–12.
8. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
9. Оценка годового распределения параметров транспортного потока / Е.В. Углова [и др.] // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2018. – № 3. – С. 87–95.
10. Углова Е.В., Саенко С.С. Распределение транспортных потоков по полосам движения на автомагистралях // Вестник МАДИ. – 2017. – № 1 (48). – С. 98–105.
11. Mathematical models for traffic flows on highways with intersections and junctions / M. Yu. Karelina, P.I. Pospelov, Yu. V. Trofimenko [et al.] // T-Comm. – 2021. – Vol. 15, no. 11. – P. 61–68. DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-11-40-44.
12. Замятин А.А., Малышев В.А. Транспортные автомобильные потоки – введение в вероятностный подход // Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского университета). – 2010. – Т. 2, № 4 (8). – С. 58–74.
13. A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method / Ghiasi A. [et al.] // Transportation Research. Part B. – 2017. – No. 106. – P. 266–292.
14. Хинчин А.Я. Работы по теории массового обслуживания. – М.: Физматгиз, 1963. – 236 с.

15. Овезгелдиева О.Б. Простейший поток событий // Интеллектуальный и научный потенциал XXI века: сборник статей междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград: Изд-во Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2017. – С. 14–16.
16. Попов Г.А. Соотношения для характеристик многоканальных систем с пуассоновскими поступлениями // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2017. – № 2 (64). – С. 29–36.
17. Гаврилова Л.И., Антонова К.А. Пуассоновское распределение на примере функционирования автостоянки // Аллея науки. – 2022. – Т. 1, № 2 (65). – С. 279–282.

References

1. Svedeniya o zagruzhenosti avtomobil'nyh punktov propuska. Federal'naja tamozhennaja sluzhba [Information about the workload of automobile checkpoints. Federal Customs Service]. Available at: <https://customs.gov.ru/checkpoints> (accessed 17 March 2023).
2. Prikaz Mintransa Rossii ot 29.10.2021 № 372 «On Amendments to the Action Plan for Equipping Public Highways of Federal Importance at the Approaches to Automobile Checkpoints across the State Border of the Russian Federation with Sites for Placement of Trucks with a Capacity Comparable to the Daily Throughput checkpoint».
3. Polyanskaya S.V., Ul'zetueva D.D. Modelirovanie transportnyh potokov na osnove komp'yuternoy obrabotki statisticheskikh dannyh [Modeling of traffic flows based on computer processing of statistical data]. Gosudarstvo i biznes. Sovremennye tendentsii i problemy razvitiya ekonomiki: Materialy XIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Sankt-Peterburg: Severo-Zapadnyj institut upravleniya – filial RANHiGS, 2021, pp. 208-221.
4. Eglit YA.YA., Civeleva M.A. Modelirovanie processov soversheniya tamozhennyh operacij i provedeniya tamozhennogo kontrolya na transporte kak sistemy massovogo obsluzhivaniya [Modeling the processes of customs operations and customs control in transport as a queuing system]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*, 2017, Vol. 9, no. 2, pp. 288-295.
5. Afonin P.N., Topkova I.A. Osobennosti imitacionnogo modelirovaniya propusknoj sposobnosti avtomobil'nogo punkta propuska [Features of simulation modeling of the throughput of a road checkpoint]. Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyj nauchnyj zhurnal, 2012, no. 12 (48), available at: www.elibrary.ru/item.asp?id=18877469.
6. Abdirasilov, ZH.M., SHurenov M.K., ZHumataev K.T. Primenenie teorii sistem massovogo obsluzhivaniya dlya opredeleniya optimal'noj zagruzki punkta vzaimodejstviya zheleznodorozhnogo i avtomobil'nogo transportov [Application of the theory of queuing systems to determine the optimal load of the point of interaction between railway and road transport]. *Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva*, 2008, no. 6 (55), pp. 113-117.
7. Andronov R.V. [et al.]. Opredelenie intensivnosti transportnyh potokov pri pomoshchi sistemy ballov kart probok [Determining the intensity of traffic flows using a system of points for traffic jam maps]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*, 2019, no. 4, pp. 5-12.
8. Sil'yanov V.V. Teoriya transportnyh potokov v proektirovanii dorog i organizacii dvizheniya [Theory of traffic flows in road design and traffic organization]. Moscow, Transport, 1977, 303 p.
9. Uglova E.V. [et al.]. Ocenka godovogo raspredeleniya parametrov transportnogo potoka [Assessment of the annual distribution of traffic flow parameters]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*, 2018, no. 3, pp. 87-95.
10. Uglova E.V., Saenko S.S. Raspredelenie transportnyh potokov po polosam dvizheniya na avtomagistralyah [Distribution of traffic flows by lanes on highways]. *Vestnik MADI*, 2017, no. 1 (48), pp. 98–105.
11. Mathematical models for traffic flows on highways with intersections and junctions / M. Yu. Karelina, P.I. Pospelov, Yu. V. Trofimenko [et al.], 2021, T-Comm, 15 (11), pp. 61-68. doi: 10.36724/2072-8735-2021-15-11-40-44.
12. Zamyatin A.A., Malyshev V.A. Transportnye avtomobil'nye potoki - vvedenie v veroyatnostnyj podhod [Traffic flows - an introduction to the probabilistic approach]. Trudy Moskovskogo fiziko-tekhnicheskogo instituta (nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta), 2010, Vol. 2, no. 4 (8), pp. 58-74.
13. A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method / Ghiasi A. [et al.]. Transportation Research. Part B, 2017, no. 106, pp. 266–292.
14. Hinchin A.YA. Raboty po teorii massovogo obsluzhivaniya [Works on the theory of queuing]. Moscow, Fizmatgiz, 1963, 236 p.
15. Ovezgeldieva O.B. Prostejsij potok sobytij [The simplest flow of events]. Sbornik statej mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Intellektual'nyj i nauchnyj potencial XXI veka”. Volgograd: Obschestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu “OMEGA SAJNS”, 2017, pp. 14-16.
16. Popov G.A. Sootnosheniya dlya harakteristik mnogokanal'nyh sistem s puassonovskimi postupleniyami [Relationships for characteristics of multichannel systems with Poisson arrivals]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 2 (64), pp. 29-36.
17. Gavrilova L.I., Antonova K.A. Puassonovskoe raspredelenie na primere funkcionirovaniya avtostoyanki [Poisson distribution on the example of the functioning of a car park]. *Alleya nauki*, 2022, Vol. 1, no. 2 (65), pp. 279-282.

Об авторе

Шиковский Виталий Сергеевич (Москва, Российская Федерация) – генеральный директор ООО «Геолойт» (Российская Федерация, 115533, г. Москва, пр-т Андропова, 22, e-mail: shikovsky@geolait.ru).

About the author

Vitaly S. Shikovsky (Moscow, Russian Federation) – General Director of LLC «Geolight» (22, Andropov av., Moscow, 115533, Russian Federation, e-mail: shikovsky@geolait.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Вклад автора 100 %.

Поступила: 28.05.2023

Одобрена: 14.06.2023

Принята к публикации: 21.06.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Шиковский, В.С. Определение вместимости стоянок на участках автомобильных дорогах, примыкающих к пунктам пропуска через государственную границу Российской Федерации / В.С. Шиковский // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 3. – С. 5–17. DOI: 10.15593/24111678/2023.03.01

Please cite this article in English as: Shikovsky V.S. Determination of parking capacity on sections of roads adjacent to checkpoints across the state border of the Russian Federation. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 3, pp. 5-17. DOI: 10.15593/24111678/2023.03.01