

DOI 10.46320/2077-7639-2025-01-134-49-56

Моделирование как инструмент оптимизации деятельности международных пунктов пропуска товаров и пассажиров

Пономаренко В.В.

Актуальность. В условиях объективного существования множества условий, которые определяют содержание транспортной деятельности, качественная аналитика, связанная с решением задач оптимизации, требует обращения к методике имитационного моделирования, являющейся незаменимым инструментом анализа параметров транспортных систем.

Цель статьи. Рассмотреть моделирование как инструмент оптимизации деятельности международных пунктов пропуска товаров и пассажиров и предложить математическую модель функционирования пунктов пропуска на границах государств, входящих в систему МТК.

Методология. Для достижения поставленной цели в работе использовалась методика имитационного моделирования, позволившая предложить алгоритм математической формализации процессов функционирования пунктов пропуска на границах государств, входящих в систему МТК.

Результаты. В данной работе разработан математический аппарат, позволяющий исследовать процессы функционирования пунктов пропуска на границах государств, входящих в систему МТК, используя схему распределения времени на обслуживание транспортных средств в пунктах пропуска и временную диаграмму работы системы очередности в пунктах пропуска. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях, связанных с повышением эффективности работы МТК.

Выводы. Позитивное значение математических моделей для оптимизации работы МТК заключается, во-первых, в том, что они избавляют от необходимости проведения дорогостоящих экспериментов, сопровождающихся, как правило, множеством измерений и ошибками, связанными с качеством информации. Также математическая формализация дает возможность формулировать реальную задачу как математическую, что позволяет использовать для анализа универсальный и мощный математический аппарат, который позволяет учитывать множество параметров работы конкретного МТК.

для цитирования

Пономаренко В.В. Моделирование как инструмент оптимизации деятельности международных пунктов пропуска товаров и пассажиров // Дискуссия. – 2025. – Вып. 134. – С. 49–56.

ГОСТ 7.1-2003

ключевые слова

Моделирование, международные транспортные коридоры, пункты пропуска, эффективность, время.

Modeling as a tool for optimizing the activities of international breakpoints for goods and passengers

Ponomarenko V.V.

Relevance. In the conditions of the objective existence of many conditions that determine the content of transport activities, high-quality analytics associated with solving optimization problems requires turning to the simulation modeling technique, which is an indispensable tool for analyzing the parameters of transport systems.

Purpose of the article. To consider modeling as a tool for optimizing the activities of international checkpoints for goods and passengers and to propose a mathematical model for the functioning of checkpoints at the borders of states included in the ITC system.

Methodology. To achieve this goal, the work used the simulation modeling technique, which made it possible to propose an algorithm for mathematical formalization of the processes of functioning of checkpoints at the borders of states included in the ITC system.

Results. In this paper, a mathematical apparatus has been developed that allows us to study the processes of functioning of checkpoints on the borders of states included in the ITC system, using a scheme for distributing the time for servicing vehicles at checkpoints and a time diagram of the operation of the queue system at checkpoints. The results obtained can be used in further studies related to increasing the efficiency of the ITC.

Conclusions. The positive value of mathematical models for optimizing the operation of the ITC is, firstly, that they eliminate the need for expensive experiments, which are usually accompanied by many measurements and errors related to the quality of information. Also, mathematical formalization makes it possible to formulate a real problem as a mathematical one, which allows using a universal and powerful mathematical apparatus for analysis, which allows considering many parameters of the operation of a specific ITC.

FOR CITATION

Ponomarenko V.V. Modeling as a tool for optimizing the activities of international breakpoints for goods and passengers. *Diskussiya [Discussion]*, 134, 49–56.

APA

KEYWORDS

Modeling, international transport corridors, checkpoints, efficiency, time.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития системы МТК требует оптимизации системы взаимодействия различных видов транспорта, оптимальных планов грузовых перевозок и повышения общей эффективности их функционирования. Однако, в процессе функционирования транспортных систем, постоянно возникает необходимость решения задач, связанных с их работой, с учетом различных требований к их функционированию.

Это обусловлено тем, что процесс транспортировки грузов и пассажиров включает в себя множество параметров, определяющих его эффективность. В этой связи, решение задач оптимизации режимов работы различных звеньев транспортных систем также опирается на анализ многочисленных факторов, действующих на транспортную систему в определенный момент времени. Само же решение проблем оптимизации функционирования транспортной системы представляется важным, поскольку в результате появляется возможность значительно повысить эффективность и качество использования транспорта в различных отраслях рыночного хозяйства.

Функционирование отдельных транспортных средств (ТС) рассматривается в этом случае как совокупность последовательно связанных между собой входных потоков требований к сфере обслуживания (транспортных средств, пассажиров и т.п.), к транспортной инфраструктуре (пунктов пропуска, станций техобслуживания и т.д.), к требованиям, которые определяются содержанием безопасности перевозок, их экологичностью и качеством [8].

В условиях объективного существования множества условий, которые определяют содержание транспортной деятельности, качественная аналитика, связанная с решением задач оптимизации, требует обращения к методике имитационного моделирования, являющейся незаменимым инструментом анализа параметров транспортных систем.

Вопросы имитационного моделирования транспортной системы в последние годы изучали А. С. Акопов, Л. А. Бекларян [2], Д. О. Жидков [4], О. А. Изотов, Е. А. Бороздин [6], Н. Г. Мамедов Оглы [9], Б. Мелиев [10] и т.д.

Данные исследователи рассмотрели проблемы, связанные с логистической деятельностью в рамках транспортной системы [3], [9]; технологических процессов перевозки грузов [6]; динамики транспортного потока [10] и условий безопасности дорожного движения [2].

Также ученые обращались к проблематике моделирования эффективных схем взаимодействия участников МТК [5]; моделирования процессов участия МТК в создании индустриальных кластеров [1].

Несмотря на то, что МТК играют в настоящее время решающее значение в развитии национальных и региональных экономик, сама проблематика, связанная с моделированием их деятельности имеет весьма ограниченный спектр научных интересов. В частности, не исследованными остаются вопросы повышения эффективности работы МТК за счет оптимизации пропускной способности пунктов пропуска, регулирующих транспортные потоки на границах государств.

В этой связи необходимость восполнения данного пробела обусловила **цель** данной статьи – рассмотреть моделирование как инструмент оптимизации деятельности международных пунктов пропуска товаров и пассажиров, и предложить математическую модель функционирования пунктов пропуска на границах государств, входящих в систему МТК.

МЕТОДОЛОГИЯ

Для достижения поставленной цели в работе использовалась методика имитационного моделирования, позволившая предложить алгоритм математической формализации процессов функционирования пунктов пропуска на границах государств, входящих в систему МТК.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА данной статьи заключается в том, что в данной работе разработан математический аппарат, позволяющий исследовать процессы функционирования пунктов пропуска на границах государств, входящих в систему МТК, используя схему распределения времени на обсуждение требований на обслуживание в пунктах пропуска и временную диаграмму работы системы очередности в пунктах пропуска.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ данной статьи состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях, связанных с повышением эффективности работы МТК.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ научной литературы позволяет говорить о том, что «модель» представляет собой имитационный объект, который описывает каким образом поведет себя система и как изменится ее состояние во времени при заданных потоках поступающих требований [12].

Главными элементами, которые должны быть отражены в модели, являются различные под-

системы, обеспечивающие работу автомобильного транспорта с точки зрения его эффективности.

Среди этих элементов, поддающихся математической формализации, важнейшим является скорость транспортного потока, которая зависит от пропускной способности МТК и скорости обслуживания автомобильного транспорта в различных узлах, образующих инфраструктуру МТК (логистические центры, станции техобслуживания, заправки, пункты пропуска и таможенного пропуска (досмотра) (далее ПТП). Долговременные очереди ТС стали реальностью для водителей и пассажиров на подъездах к международным пунктам пропуска (далее МТК). Фактическая нагрузка на ПТП превышает проектную пропускную способность, что влечет за собой задержки на границе, снижая эффективность деятельности МТК [7].

Учитывая важность бесперебойного товаро-движения в Россию, а также значение экспортной деятельности для развития национальной экономики, эта ситуация требует немедленного разрешения.

Таким образом, в современных условиях функция эффективности транспортной системы, как разветвленной сети транспортных магистралей и инфраструктурных объектов, напрямую зависит от указанных выше элементов, а точнее от их способности пропустить максимальное количество автомобилей через МТК.

Совокупная пропускная способность МТК (D) в транспортной системе зависит от: пропускной способности магистралей d_{ij} ; наличия инфраструктурных возможностей одновременного обслуживания автомобилей q_i ; скорости обслуживания одного транспортного средства S ; динамики транспортного потока и др.:

$$D = f_l(\{d_{ij}\}, \{q_i\}, S, X)$$

Грамотно построенная структура S транспортной системы обеспечивает заданную совокупную пропускную способность и необходимую емкость при минимальных затратах [8].

В данном контексте отметим, что одним из наиболее проблемных аспектов функционирования МТК является скорость прохождения ПТП. Данная проблема в силу ее актуальности и многогранности является весьма значимой, в то же время относительно простой для разрешения при условии использования возможностей имитационного моделирования с точки зрения оптимизации работы данных инфраструктурных объектов.

Рассматривая данную проблему, отметим, что функционирование ПТП связано с наличием

организационных условий, предполагающих, что обслуживание ведется в определенной последовательности. Соответственно в систему функционирования ПТП поступает два типа требований: первая группа требований касается обслуживания автомобилей, совершающих грузовые международные перевозки (часть обслуживания таких требований составляет t_1); вторая группа требований поступает от водителей (экспедиторов) автомобилей, осуществляющих пассажирские международные перевозки (время обслуживания таких требований равно t_2). Для простоты изложения будем считать, что t_1 и t_2 – постоянные величины (нетрудно видоизменить модель так, чтобы t_1 и t_2 были случайными величинами с заданным законом распределения) [11].

Предположим, что ПТП может обслуживать (проводить таможенный контроль) одновременно только одно транспортное средство (т.е. в нашем примере мы рассматриваем отдельный коридор въезда/выезда – КВ). Если в момент прибытия нового автомобиля КВ занят, то автомобиль условно становится в одну из двух очередей: одна состоит из автомобилей, осуществляющих международные грузовые перевозки, другая – из автомобилей, осуществляющих международные пассажирские перевозки. Пусть обслуживание автомобилей производится в таком порядке: в момент, когда КВ становится свободным, обслуживание начинается с автомобиля, стоящего первым в очереди на международные пассажирские перевозки. Только, если эта очередь пуста, то обслуживается первый автомобиль из очереди на грузовые международные перевозки (в данном случае речь идет о том, что имеет место функционирование обслуживающей системы, работающей в режиме ожидания, в которую поступают два независимых потока (очередь 1 и очередь 2) требований, обслуживаемых по правилу относительных приоритетов). Формализованная схема функционирования такой системы показана на рисунке 1.

На рисунке 2 изображена временная диаграмма, иллюстрирующая работу данной системы. Оба потока требований, поступающих в КВ, можно описать функцией распределения $A(t)$ промежутков времени между моментами прибытия их в очередь (эта функция будет своя для каждого потока), т.е. $A\{t\} = \Pr\{Q \prec t\}$.

При моделировании функция $A(t)$ уже должна быть известна (ее можно получить, например, путем регистрации и последующего статистического анализа моментов прибытия автомобиля на ПТП).

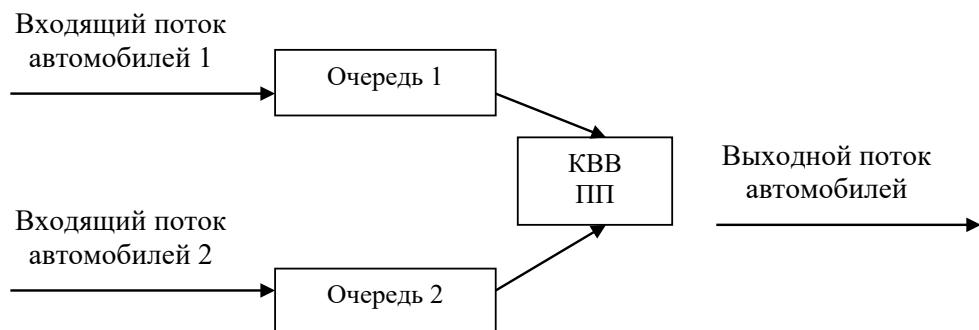


Рисунок 1. Схема функционирования системы требований, обслуживаемых по правилу относительных приоритетов

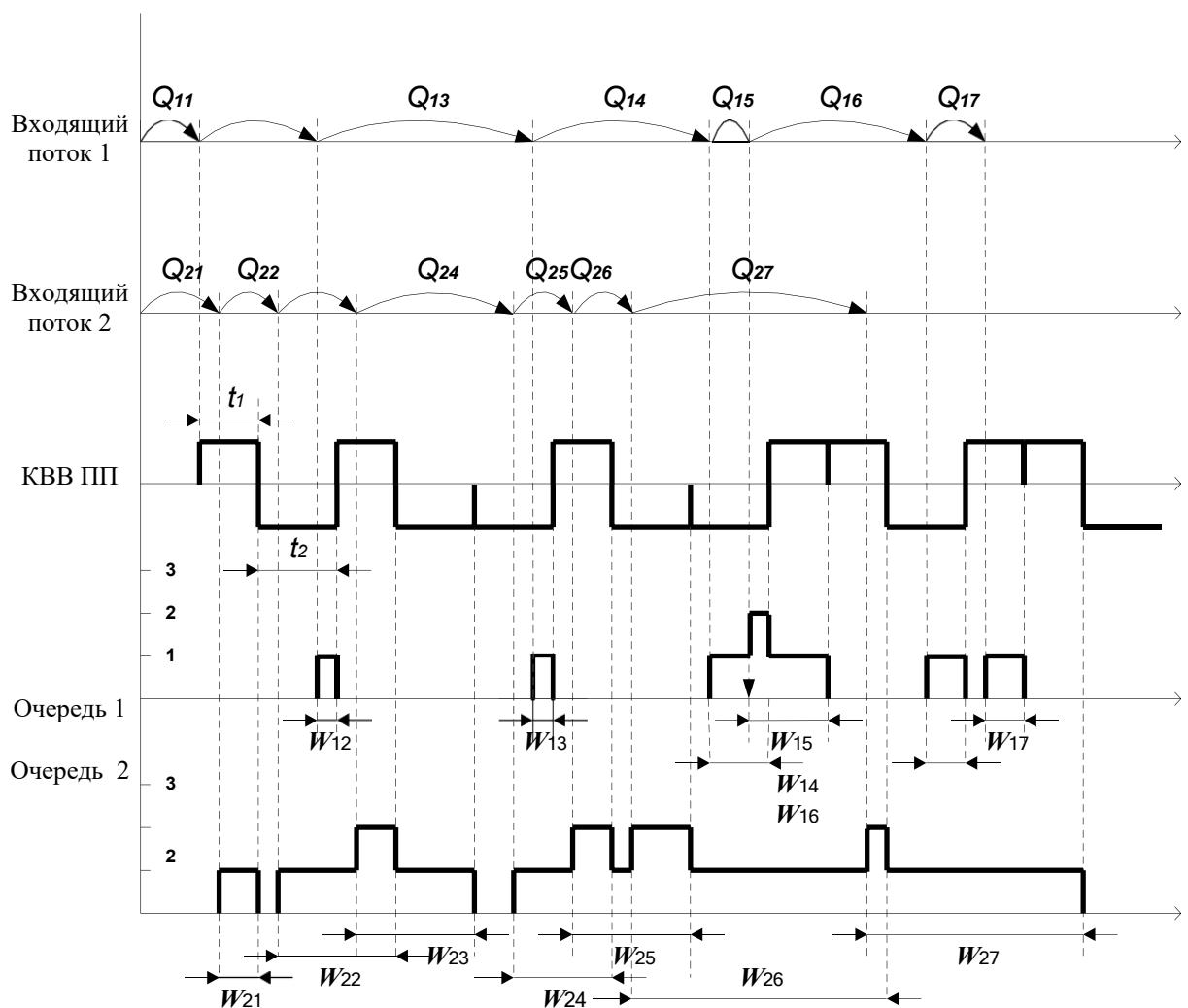


Рисунок 2. Схема распределения времени на обслуживание требований, поступающих в ПТП
(где Q_{1i}, Q_{2i} – время прибытия автомобилей потока 1 и входящего потока 2;
 W_{1i}, W_{2i} – относительное время ожидания в очереди, соответственно, автомобилей из потока 1 и потока 2)

При этом функционал работы ПТП возможно описать с использованием аппроксимации распределения интервалов между моментами поступления требований на обслуживание в систему экспоненциальной функцией:

$$\left\{ \begin{array}{l} A(t) = 1 - e^{-\lambda t} \text{ для } t \geq 0 \\ 0 \text{ для } t < 0 \end{array} \right. \quad (1.1)$$

где λ – интенсивность входящего потока (величина, обратная среднему интервалу времени между приходом двух смежных требований).

Если временная диаграмма, воспроизводящая работу системы за достаточно длинный промежуток времени Т построена так, что случайные величины Q_{1i} и Q_{2i} соответствуют реальным законам распределения, то статистические характеристики работы системы можно получить на основе анализа временной диаграммы.

Допустим, что нас интересует среднее время ожидания требований в очереди для потоков 1 и 2. Для каждого i -го требования время ожидания ω_i в очереди равно разнице между моментом времени начала обслуживания и моментом времени, когда требование «вошло» в систему (время занятия очереди на прохождение ПТП). Среднее время ожидания составляет:

$$\omega_{1cp} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} \omega_{1i}; \quad \omega_{2cp} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} \omega_{2i}$$

где: n_1 и n_2 – количество требований соответственно потоков 1 и 2, обслуженных системой за время T ;

ω_{1i} и ω_{2i} – время ожидания в потоках 1 и 2.

Суммируя количество требований в очереди через небольшие промежутки времени и разделив полученную сумму на количество суммирований, получим среднее значение длины очереди:

$$L_{1cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_{1i}; \quad L_{2cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_{2i}$$

где: m_{1i} и m_{2i} – количество требований в первой и второй очередях к моменту наблюдения i ;

N – количество моментов наблюдения (моментов снятия статистики) за время T .

Дисперсия величин ω и L :

$$D\omega_1 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (\omega_{1i} - \omega_{1cp})^2$$

$$D\omega_2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (\omega_{2i} - \omega_{2cp})^2$$

$$DL_1 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (m_{1i} - L_{1cp})^2$$

$$DL_2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (m_{2i} - L_{2cp})^2$$

Для первого потока $Q_{1i+1} = t_{1i} + Q_{1i}$, где величины Q_{1i} распределены по закону распределения $A_1(t)$. Нетрудно доказать, что если есть случайная величина R , распределенная равномерно в интервале (0, 1), то для получения величины Q , имеющей функцию распределения $A(t)$, надо решить уравнение $A(Q) = R$ относительно Q . В частности, для $A(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0$, нужно решить уравнение $1 - e^{-\lambda Q} = R$. Отсюда:

$$Q = -(1/\lambda) \ln(1 - R)$$

Таким образом, чтобы получить Q , нужно найти R , подчиняющееся равномерному распределению.

В большинстве систем программирования имеются специальные стандартные программы, которые производят так называемые псевдослучайные числа, последовательность которых подчиняется равномерному распределению в интервале (0, 1).

Алгоритм расчета момента времени прихода следующего требования можно изобразить в виде схемы, показанной на рисунке 3.

Далее необходимо рассмотреть метод, описывающий логику работы очереди (понятно, что метод будет идентичным для обеих очередей). Предположим, что очередь имеет наибольшую длину LM (число мест для ожидания). Одномерный массив P , состоящий из элементов (ячеек) $P1, P2, \dots, PLM$, имитирует «места» этой очереди. Каждая из этих ячеек может быть либо пустой, либо занятой требованием. За эквивалент требования удобно брать момент его прихода в очередь – эта

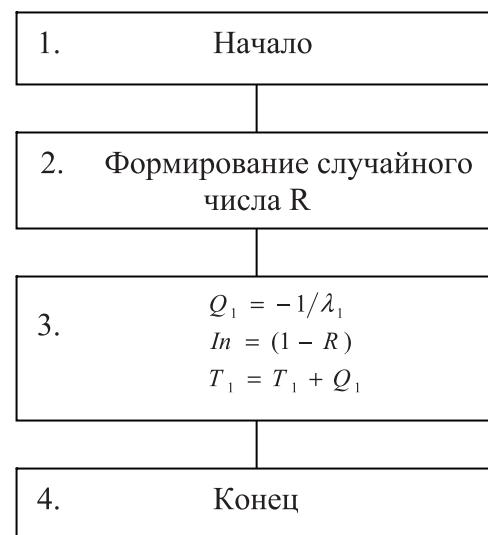


Рисунок 3. Имитационный алгоритм получения момента времени прихода требования

информация понадобится для определения времени ожидания требования в очереди. Ячейка X используется как рабочая ячейка при записи очередного требования к очереди или при выходе из очереди.

Ячейки *PER* и *POS* содержат информацию, позволяющую определить наличие соответственно первого и последнего требования в очереди. Этой информацией является номер соответствующей ячейки массива Р.

В момент выбора требования из очереди содержание ячейки *PER* увеличивается на единицу по правилу выбора из очереди в порядке поступления. Содержание ячейки *POS* увеличивается на единицу при записи в очередь нового требования. Максимальное значение переменных *PER* и *POS* равно *LM*, поэтому их изменение происходит в соответствии с формулами:

$$PER = \begin{cases} PER + 1, & \text{если } _{PER} < LM \\ PER + 1 - LM, & \text{если } _{PER} \geq LM \end{cases}$$

$$POS = \begin{cases} POS + 1, & \text{если } _{POS} < LM \\ POS + 1 - LM, & \text{если } _{POS} \geq LM \end{cases}$$

Изменение количества требований при выходе из очереди уменьшается на единицу, а при записи в очередь – увеличивается на единицу. Переменная *PER* равна единице, если в очереди нет требований, и равно нулю в противоположном случае. Переменная *POS* равна единице, если в очереди нет свободных мест (в этом случае новое требование не может быть записано в очередь).

Таким образом, схему работы ПТП можно описать признаком «свободно-занято», изменяющимся во времени. Временная диаграмма работы данной системы изображена на рисунке 4.

На временной диаграмме изображен процесс формирования 1-го и 2-го входных потоков, работа 1-й и 2-й очередей, в которых показаны моменты прихода, количество требований в обеих очередях и процесс работы ПТП. Данная диаграмма весьма наглядна и позволяет визуально наблюдать во времени процесс работы всей системы пункта пропуска, регулирующего прохождение автомобильного транспорта, движущегося по МТК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной статье разработан математический аппарат, позволяющий исследовать процессы функционирования пунктов пропуска на границах государств, входящих в систему МТК, используя схему распределения времени на обслуживание требований в пунктах пропуска и временную диаграмму работы системы очередности в пунктах пропуска, что позволяет использовать полученные результаты в дальнейших исследованиях, связанных с повышением эффективности работы МТК.

Приведенное исследование позволяет говорить о том, что позитивное значение математических моделей для оптимизации работы МТК заключается, во-первых, в том, что они избавляют от необходимости проведения дорогих экспериментов, которые сопровождаются, как правило, множеством измерений и ошибками, связанными с качеством информации. Во-вторых, формализация позволяет формулировать реальную задачу

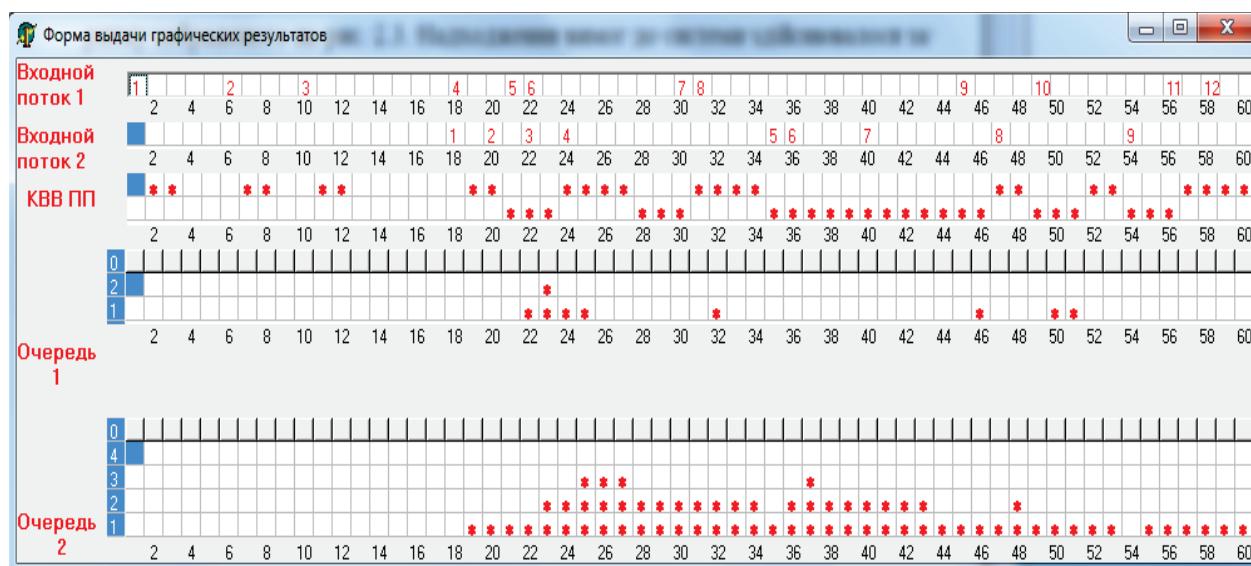


Рисунок 4. Временная диаграмма работы системы очередности в ПТП

как математическую, что позволяет использовать для анализа универсальный и мощный математический аппарат, который позволяет учитывать множество параметров работы конкретного МТК.

В-третьих, математические методы дают возможность проводить детальный количественный

анализ модели, помогают предсказать поведение транспортной системы в разных условиях, а значит выработать рекомендации по выбору оптимальных (наилучших) вариантов решения проблемы, связанной с повышением эффективности работы МТК.

Список литературы

1. Абрамов, В. И. Ситуационное моделирование развития индустриальных кластеров России на примере образования транспортных коридоров // Экономический анализ: теория и практика. – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 327 – 338.
2. Акопов, А. С., Бекларян, Л. А. Моделирование динамики дорожно-транспортных происшествий с участием беспилотных автомобилей в транспортной системе «умного города» // Бизнес-информатика. – 2022. – Т. 16, № 4. – С. 19–35.
3. Гавриленко, Н. Г. Стратегическое управление развитием грузового автомобильного транспорта в условиях цифровой трансформации экономики: дисс. ... докт. экон. наук. – Омск, 2022. – 248 с.
4. Жидков, Д. О. Особенности программной реализации моделей транспортных потоков // Системный анализ в проектировании и управлении. – 2024. – № 3. – С. 436-461.
5. Журавлева, Н. А., Урываев, С. В. Моделирование схем международного взаимодействия в евразийских транспортных коридорах на основе железнодорожной инфраструктуры // Бюллетень результатов научных исследований. – 2021. – Вып. 3. – С. 137-148.
6. Изотов, О. А., Бороздин, Е. А. Моделирование транспортно-технологической системы перевозки сборных грузов // Вестник государственного университета морского и речного флота
7. Король, Р. Г., Акельев, А. С. Моделирование пропускной способности пограничных переходов транспортного коридора «Приморье-1» в условиях увеличения грузопотока // Известия Транссиба. – 2023. – № 2. – С. 97-107.
8. Кузьмин, Д. В., Багинова, В. В. Управление транспортными системами и логистической инфраструктурой. – М.: Прометей, 2020. – 66 с.
9. Мамедов, Н. Г. Оглы. Моделирование оптимальной системы управления цепями поставок в транспортных системах // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – № 49 (3). – С. 82-90.
10. Мелиев, Б. Оптимизация транспортного потока в системе городского транспорта // Вестник науки. – 2021. – Т. 1, № 7 (40). – С. 111-115.
11. Палагин, Ю. И., Мочалов, А. И., Тимонин, А. В. Математическое моделирование и расчет характеристик трехмодальных транспортно-терминальных сетей // Прикладная информатика. – 2013. – № 2. – С. 32-42.
12. Пискажова, Т. В., Донцова, Т. В., Даныкина, Г. Д. Математическое моделирование объектов и систем управления. – Красноярск: СФУ, 2021. – 230 с.

References

1. Abramov, V. I. Situational modeling of the development of industrial clusters in Russia on the example of the formation of transport corridors // Economic analysis: theory and practice. – 2019. – Vol. 18, № 2. – Pp. 327-338.
2. Akopov, A. C., Beklaryan, L. A. Modeling the dynamics of road accidents involving unmanned vehicles in the smart City transport system // Business Informatics. – 2022. – Vol. 16, № 4. – Pp. 19-35.
3. Gavrilko, N. G. Strategic management of truck transport development in the context of digital transformation of the economy: diss. ... doct. economy. sciences'. – Omsk, 2022. – 248 p.
4. Zhidkov, D. O. Features of software implementation of transport flow models // System analysis in design and management. – 2024. – № 3. – Pp. 436-461.
5. Zhuravleva, N. A., Uryaev, S. V. Modeling schemes of international interaction in Eurasian transport corridors based on railway infrastructure // Bulletin of results scientific research. – 2021. – Issue 3. – Pp. 137-148.
6. Izotov, O. A., Borozdin, E. A. Modeling of the transport and technological system of transportation of combined cargoes // Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet. – 2021. – № 3. – Pp. 325-331.
7. Korol, R. G., Akeliev, A. S. Modeling the capacity of border crossings of the Primorye-1 transport corridor in conditions of increased cargo traffic // Izvestiya Transsib. – 2023. – № 2. – Pp. 97-107.
8. Kuzmin, D. V., Baginova, V. V. Management of transport systems and logistics infrastructure. – Moscow: Prometey, 2020. – 66 p.
9. Mammadov, N. G. Oglu. Modeling of an optimal supply chain management system in transport systems // Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences. – 2022. – № 49 (3). – Pp. 82-90.
10. Meliev, B. Optimization of the traffic flow in the urban transport system // Bulletin of Science. – 2021. – Vol. 1, № 7 (40). – Pp. 111-115.
11. Palagin, Yu. I., Mochalov, A. I., Timonin, A. V. Mathematical modeling and calculation of characteristics of three-modal transport terminal networks // Applied Informatics. – 2013. – № 2. – Pp. 32-42.
12. Piskazhova, T. V., Dontsova, T. V., Danykina, G. D. Mathematical modeling of objects and control systems. – Krasnoyarsk: SFU, 2021. – 230 p.

Информация об авторе

Пономаренко В.В., аспирант кафедры «экономики» Института экономики, управления и финансов АНО ВО «РосНОУ» (г. Москва, Российская Федерация).

© Пономаренко В.В., 2025.

Information about the author

Ponomarenko V.V., postgraduate student of the Department of Economics at the Institute of economics, management and finance ANO VO “RosNOU” (Moscow, Russian Federation).

© Ponomarenko V.V., 2025.