

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.621/.626

Ю. Я. Зубарев,
д-р техн. наук, проф.;

И. В. Кукушкин,
асп.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ КАБОТАЖНЫХ СУДОВ

IMITATION MODEL OF THE COASTING SHIPS PROCESSING

В работе рассматриваются вопросы построения имитационной модели процесса обработки каботажных судов на контейнерных терминалах, включающих несколько причалов. В отличие от классической марковской модели массового обслуживания, которая дает завышенные значения вероятностных характеристик процессов обработки, таких как математическое ожидание времени ожидания каботажных судов в очереди и в терминале, спроектированная в данной работе имитационная модель основана на статистических данных разброса времени движения судна по маршруту и времени обработки судна в терминале. Предложена математическая формулировка задачи и определяются выражения, положенные в основу алгоритма, реализующего имитационную модель. На основе алгоритма разработана программа, позволяющая определять вероятностные характеристики процессов обработки каботажных судов. В работе приводятся графики, позволяющие оценить влияние среднеквадратичных отклонений случайных величин на вероятностные характеристики процессов.

This article describes imitating model of processing of coasting courts questions on container terminals, the including slightly moorings. In difference from classical Markov model of mass service which gives the overestimated values of probabilistic characteristics of processing, such as the population mean of a waiting time of coasting courts in turn and in the terminal, in work is considered the imitating model based on statistical data of dispersion of time of the movement of the vessel on a route and time of processing of the vessel in the terminal. The mathematical formulation of a task is made and the expressions which are been the basis for the algorithm realizing imitating model are defined. On the basis of algorithm the program allowing to define probabilistic characteristics of processing of coasting courts is developed. Are brought in work graphics, allowing to estimate influence of mean square deviations of random variables on probabilistic characteristics of processes.

Ключевые слова: обработка контейнерных грузов, имитационная модель, равномерное распределение, каботажные суда.

Key words: containerized cargo handling, imitation model, uniform distribution, coasting ships.

Введение

На сегодняшний день морские грузоперевозки являются одной из самых высоко финансируемых и быстро развивающихся отраслей транспорта. Последнее время в мире наблюдается стабильная тенденция роста морских контейнерных перевозок. Мировой уровень контейнеризации грузопотоков достигает 50 – 60 % от общего уровня перевозок, что подчеркивает перспективность развития данного вида транспорта.

Перевозки каботажных грузов можно рассматривать как последовательный ряд циклических операций, где каждое отдельное судно перевозит груз от одного порта к другому, а затем возвращается и повторяет операцию снова. Обычно для выбора количества причалов или оптимальной загрузки перегрузочных терминалов используются детерминированные модели

процессов обработки каботажных судов, но при обработке и исследовании детерминированных моделей вступают в силу допущения, значительно идеализирующие процессы обработки грузов. Поэтому для решения этих задач Б. В. Гнеденко предложил использовать марковские модели массового обслуживания. Однако применение марковских моделей массового обслуживания [1] – [4] не всегда целесообразно для исследования процессов обработки контейнерных грузов, так как расчеты, проводимые на основе этих моделей, существенно увеличивают время ожидания судов в очереди по сравнению с реальными условиями функционирования на перегрузочных терминалах.

В работах [5] – [9] была предложена аналитическая модель переработки каботажных грузов, которая основывалась на частной теореме о повторении опытов. Эта модель учитывала недостатки марковских моделей массового обслуживания, что позволило значительно повысить точность вычислений. Однако модель в работах [5] – [9] даёт несколько заниженные значения вероятностных характеристик.

В настоящей работе будет представлена имитационная модель расчета вероятностных характеристик с учетом случайного разброса таких величин, как время обработки судна в порту и время движения судна по маршруту, что позволяет получить более точные результаты.

Постановка задачи

Постановкой задачи является разработка имитационной модели, учитывающей разброс времени обработки судна и время движения судна по маршруту. Разброс будет формироваться на основе равномерного распределения. При этом точность определения вероятностных характеристик повышается за счет проведения большого числа опытов и усреднения результатов.

Актуальность

Данная имитационная модель и описанные в ней алгоритмы позволят значительно увеличить эффективность проектирования перегрузочных контейнерных терминалов в морских портах. Применение данной модели позволит оптимизировать процесс обработки каботажных судов путем оптимального планирования и оперативного управления этими процессами.

Математическая формулировка задачи

Будем рассматривать два контейнерных терминала, между которыми осуществляется перевозка грузов, включающих S_1 и S_2 причалов соответственно. Рассмотрим движение одного судна в прямом и обратном направлении. Время цикла операции $T_{\text{ц}}$ является случайной величиной. Необходимо определить математическое ожидание времени цикла, равное сумме математических ожиданий отдельных составляющих

$$\bar{T}_{\text{ц}} = \bar{T}_{\text{м1}} + \bar{T}_{\text{м2}} + \bar{T}_{\text{обр1}} + \bar{T}_{\text{обр2}} + \bar{T}_{\text{ож1}} + \bar{T}_{\text{ож2}}. \quad (1)$$

Как видно из [1], время движения судна по маршрутам $\bar{T}_{\text{м1}}$ и $\bar{T}_{\text{м2}}$ существенно зависит от гидрометеорологических условий. Это значит, что даже через небольшое количество рейсов интервалы между приходами судов могут сильно отличаться друг от друга, что делает их случайными величинами. Кроме этого, нельзя забывать, что время обработки каботажных судов также зависит от различных факторов, следовательно, оно тоже является случайной величиной. Поэтому для описания процессов переработки каботажных грузов следует использовать не детерминированные, а вероятностные модели. Основываясь на этом, введем в модель разброс величин $\bar{T}_{\text{м1}}$, $\bar{T}_{\text{м2}}$, $\bar{T}_{\text{обр1}}$ и $\bar{T}_{\text{обр2}}$.

С учетом равномерного закона распределения можно записать следующие выражения для математического ожидания и среднего квадратичного отклонения указанных величин:

$$M = \frac{a+b}{2}; \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}, \quad (3)$$

где a и b — границы разброса величин.

Выразим среднее квадратичное отклонение величины через его математическое ожидание

$$\sigma = rM, \quad (4)$$

где r — коэффициент пропорциональности.

Решив систему уравнений (2) и (3), определим пределы изменения случайной величины:

$$b = (1 + r\sqrt{3})M; \quad (5)$$

$$a = (1 - r\sqrt{3})M.$$

Случайную величину с разбросом на интервале $[a \dots b]$ получаем из выражения

$$a + c(b-a). \quad (6)$$

Для получения разброса будем задавать случайную величину c на каждой итерации. Эти случайные величины должны подчиняться равномерному закону распределения на интервале $[0 \dots 1]$.

Стоит также отметить, что при слишком малой величине r разброс будет маленьким, в частности, если задать её равной нулю, мы получим нулевой разброс значения, т.е. границы сольются в одну точку $a = b = M$, что соответствует аналитической модели [5] – [9].

Разделив $\bar{T}_{ож}$ и $\bar{T}_м$ на среднее время переработки грузов, мы получим выражения для среднего приведенного времени ожидания в очереди и среднего приведенного времени движения судна по маршруту:

$$\bar{\tau}_{ож} = \frac{\bar{T}_{ож}}{\bar{T}_{обр}}, \quad (7)$$

$$\bar{\tau}_м = \frac{\bar{T}_м}{\bar{T}_{обр}}. \quad (8)$$

Приведем схему алгоритма работы имитационной модели с учетом разброса случайных величин (формулы (7), (8)).

Рис. 1 является вспомогательным алгоритмом, который представляет собой вычисление границ разброса на основе математического ожидания случайной величины, параметра r , отвечающего за величину разброса, и случайной величины c , заданной на интервале $[0 \dots 1]$. Случайная величина c генерируется на каждой итерации таким образом, что множество этих сгенерированных величин подчиняются равномерному закону распределения.

На рис. 2 изображена схема алгоритма работы имитационной модели. Как видно из блок-схемы, алгоритм включает цикл из десяти тысяч повторяющихся итераций. Данное количество повторений было выбрано для подсчета среднестатистических значений математического ожидания и среднего квадратичного отклонения.

Рассмотрим влияние величины r на значения среднего приведенного времени ожидания судна в очереди $\bar{\tau}_{ож}$.

На рис. 3 и 4 изображены графики, а в соответствующих им табл. 1 и 2 произведены расчеты зависимости времени ожидания от приведенного среднего времени движения судна по маршруту и величины r . Значение $r = 0$ соответствует аналитической модели [5] – [9], а r_{max} — марковской модели массового обслуживания.

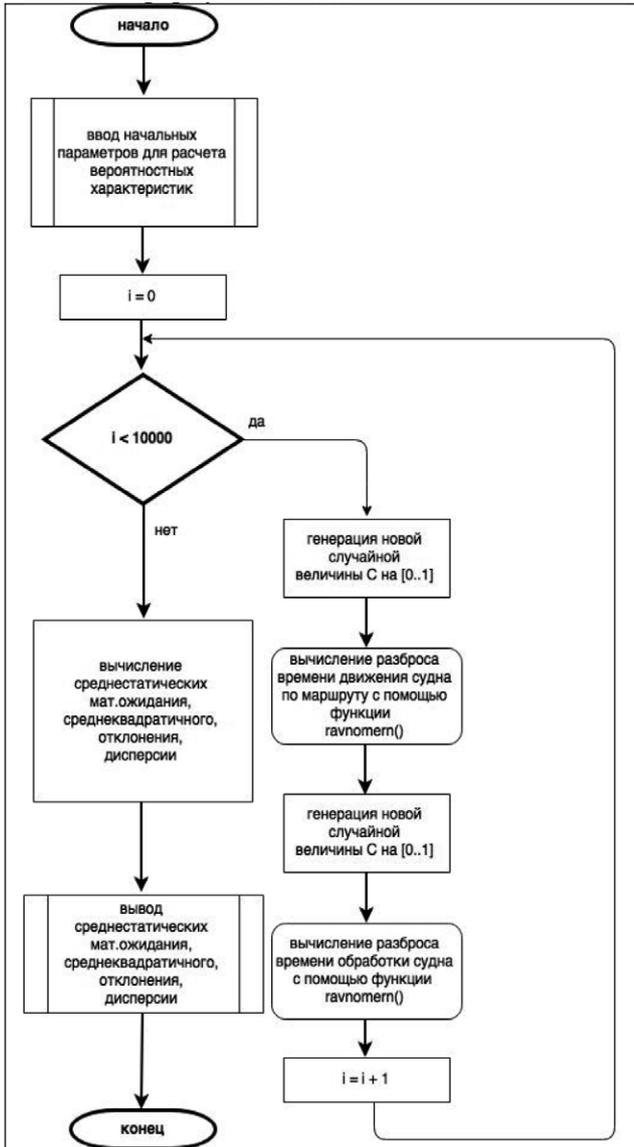


Рис. 1. Основной алгоритм

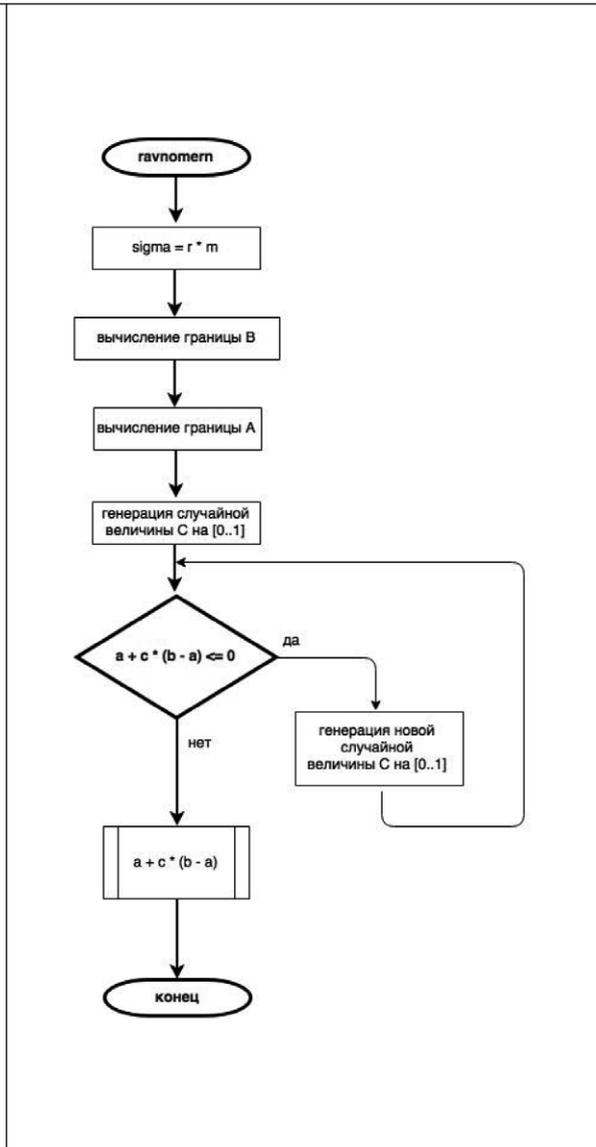


Рис. 2. Вспомогательный алгоритм

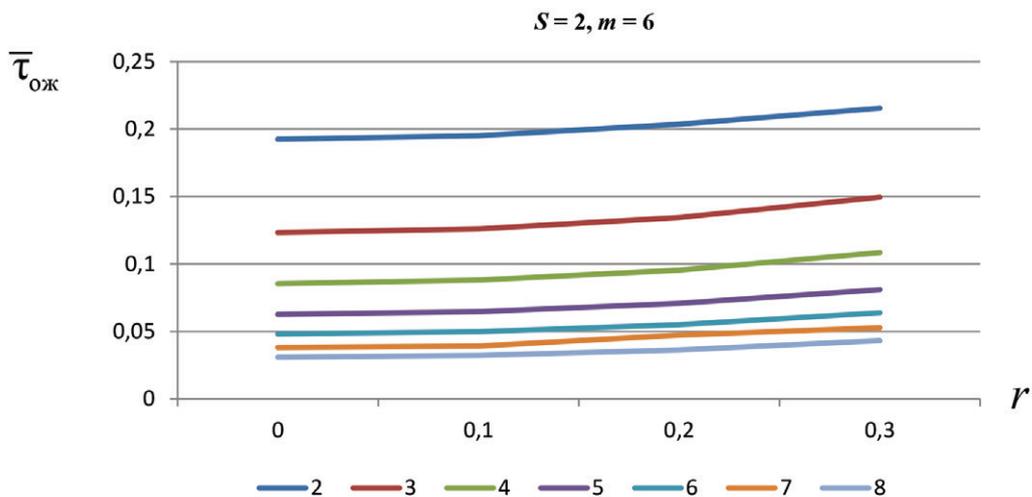


Рис. 3. Зависимость времени ожидания от величины разброса при количестве судов $m = 6$

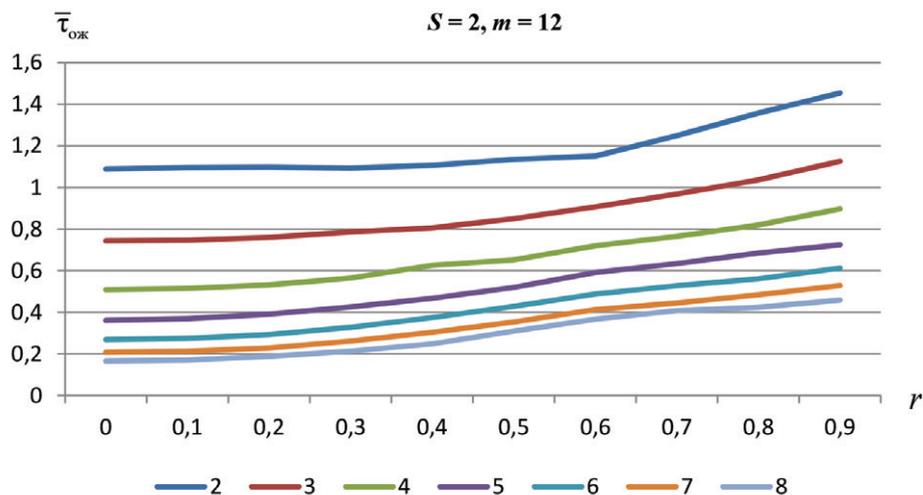


Рис. 4. Зависимость времени ожидания от величины разброса, при числе судов $m = 12$

Таблица 1

Зависимость времени ожидания от величины разброса и времени движения судна по маршруту при количестве судов $m = 6$

r	$\bar{\tau}_m$						
	2	3	4	5	6	7	8
0	0,19242	0,12325	0,08539	0,06269	0,04803	0,03801	0,03086
0,1	0,19506	0,12595	0,08798	0,06459	0,04979	0,03912	0,03216
0,2	0,20357	0,13438	0,09541	0,07080	0,05497	0,04717	0,03620
0,3	0,21543	0,14947	0,10846	0,08099	0,06382	0,05278	0,04319

Таблица 2

Зависимость времени ожидания от величины разброса и времени движения судна по маршруту при числе судов $m = 12$

r	$\bar{\tau}_m$						
	2	3	4	5	6	7	8
0	1,08875	0,74304	0,50808	0,36086	0,26817	0,20730	0,16542
0,1	1,09587	0,74588	0,51443	0,36818	0,27428	0,21226	0,17016
0,2	1,09763	0,75934	0,53130	0,39021	0,29236	0,22785	0,18759
0,3	1,09269	0,78648	0,56445	0,42577	0,32744	0,26136	0,21313
0,4	1,10591	0,80531	0,62579	0,46708	0,37450	0,30353	0,24808
0,5	1,13478	0,84958	0,65146	0,51908	0,42853	0,35297	0,30946
0,6	1,15034	0,90690	0,71951	0,59127	0,48792	0,41297	0,36620
0,7	1,24951	0,96857	0,76500	0,63441	0,52787	0,44488	0,40830
0,8	1,35784	1,03632	0,81937	0,68505	0,56092	0,48428	0,42377
0,9	1,45407	1,12612	0,89668	0,72452	0,61207	0,52838	0,45846

Нужно отметить, что оптимизация работы контейнерных терминалов [10] может повлиять на среднее приведенное время ожидания судов в очереди и значительно ускорить весь цикл, однако это в дальнейшем может также учитываться в выборе более низких значений величины разброса r .

Как видно из графиков и таблиц, с увеличением числа судов m существенно возрастает величина r , соответствующая марковской модели массового обслуживания. В общем случае r_1 и r_2 берутся различными для разброса значений \bar{T}_m и $\bar{T}_{\text{обр}}$. В данной работе для простоты иллюстрации влияния величин r_1 и r_2 будем брать их равными $r_1 = r_2 = r$.

Выводы

1. Значения времени ожидания судна в очереди из табл. 1 и 2, приведенных в данной статье, начинают совпадать с марковской моделью с $m = 6$ при r в диапазоне $[0,2 \dots 0,3]$, а с $m = 12$ — при r в диапазоне $[0,4 \dots 0,9]$. Стоит заметить, что с увеличением τ_m величина разброса r , с которой достигается значения марковской модели, снижается.

2. Для построения имитационной модели необходимо (на основе статистических данных по разбросу величин τ_m и $\tau_{\text{обр}}$) определить величины r_1 и r_2 , что позволит наиболее точно определить вероятностные характеристики процессов переработки каботажных грузов: среднее число судов, находящихся в очереди; среднее число судов, находящихся в терминале; среднее время пребывания судна в очереди и среднее время пребывания судна в терминале.

3. Применение данной модели позволяет обеспечить оптимальное управление каботажными перевозками в транспортно-технологическом комплексе, включающем два терминала.

Список литературы

1. *Зубарев Ю. Я.* Оптимизация процессов переработки каботажных грузов / Ю. Я. Зубарев, А. М. Тюкавин. — СПб.: Политехника, 2009. — 168 с.
2. *Зубарев Ю. Я.* Идентификация процессов переработки контейнерных грузов на основе оптимальных планов вычислительного эксперимента / Ю. Я. Зубарев, И. А. Русинов // Аудит. — 2008. — № 6. — С. 454–460.
3. *Русинов И. А.* Формализация процессов переработки контейнерных грузов / И. А. Русинов, Н. Ю. Барышникова // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2010. — № 97. — С. 48–53.
4. *Русинов И. А.* Анализ методов многокритериальной оптимизации процессов переработки грузов в контейнерах / И. А. Русинов // Аудит. — 2009. — № 2. — С. 138–140.
5. *Гайнуллин А. С.* Вероятностная формализация процессов обработки каботажных судов на контейнерных терминалах / А. С. Гайнуллин, Ю. Я. Зубарев // Журнал университета водных коммуникаций. — 2011. — № 1. — С. 70–74.
6. *Зубарев Ю. Я.* Вероятностные характеристики процессов обработки каботажных и экспортно-импортных судов на контейнерных терминалах / Ю. Я. Зубарев, Д. С. Ловяников // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 1 (66). — С. 72–73.
7. *Зубарев Ю. Я.* Вероятностная формализация процессов обработки контейнерных грузов с учетом ограничений на число судов в очереди / Ю. Я. Зубарев, Д. С. Ловяников // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 1 (23). — С. 109–113.
8. *Ловяников Д. С.* Оптимальное управление процессами совместной обработки экспортно-импортных и каботажных судов на контейнерных терминалах / Д. С. Ловяников, Ю. Я. Зубарев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 101–107.

9. Зубарев Ю. Я. Моделирование процессов переработки контейнерных грузов на основе немарковских моделей массового обслуживания / Ю. Я. Зубарев, А. С. Гайнуллин, А. С. Хвастунов // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта в России: материалы II Межвуз. науч.-практ. конф. студ. и аспирантов. — СПб.: Изд-во ГМА имени адмирала С. О. Макарова, 2001. — С. 12–13.

10. Русинов И. А. Оптимизация работы контейнерных терминалов / И. А. Русинов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2010. — № 22 (198). — С. 31–36.

УДК 004.424.27, 004.725.4

А. А. Некрасова,
асп.;

С. С. Соколов,
канд. техн. наук, доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ПЕРКОЛЯЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ НА ТРАНСПОРТЕ

STUDY OF THE POSSIBILITY OF PERCOLATION THEORY FOR FLOW CONTROL IN INFORMATION NETWORKS TRANSPORT

Современный уровень развития информационных технологий (ИТ) предполагает рост взаимодействия элементов информационных систем. Развитие информационных сетей (ИС) и рост объемов обмена информацией требуют разработки новых средств моделирования взаимодействия элементов и управления информационными потоками (ИП) данных в них. Снижение пропускной способности информационной сети, угроза разрушения механизма управления потоками данных в сети, необходимость перераспределения ИП — все это является актуальными проблемами ИС. Решение этих проблем позволит оптимизировать управление потоками данных и работы сети в целом: повысить эффективность использования полосы пропускания, увеличить возможности динамического распределения сетевых ресурсов, достичь более высокого уровня автоматизации и контроля сети. В статье проведен анализ существующих методов и алгоритмов теории перколяции. Динамические процессы, протекающие в ИС, требуют применения адекватных математических алгоритмов, которыми являются методы перколяции (протекания). Перколяционная модель представляет собой распространение процесса на решетке, при котором существует хотя бы один непрерывный путь через соседние проводящие узлы от одного до другого края. Метод применен для информационных сетей на транспортных объектах.

The present level of development of information technologies assumes increase interaction of elements of information systems. The development of information networks and the growth of the exchange of information will require the development of new tools for modeling the interaction of the elements and information management data in them. Reduced bandwidth information network; threat of the destruction of the mechanism of management of data flows in the network, the need for redistribution of information flows – all of this is the most pressing problems in information networks. Solving these problems will lead to improved performance and data flow management of the network as a whole. One of the solutions is to increase bandwidth efficiency, the ability to dynamically allocate network resources, a higher level of automation and control networks. The article provides an analysis of existing methods and algorithms for percolation theory. Dynamic processes in information networks require the use of appropriate mathematical algorithms, which are the methods of percolation (percolation). The percolation model is an extension of the process on a lattice, in which there is at least one continuous path through the adjacent conductive components from one to the opposite edge. These methods can be applied to work with information networks to transport objects.