



## АНАЛИЗ ВИДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВХОДНОГО ПОТОКА СУДОВ В ПАССАЖИРСКИЙ ПОРТ

**М. Р. Язвенко**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В данной статье представлено сравнение видов распределения входного потока судов на основе имитационной модели морского пассажирского порта Санкт-Петербурга. В ходе анализа прибытий круизных судов в порт в прошлые года был определен доверительный интервал, в котором может колебаться прогнозируемое количество заходящих в пассажирский порт судов. Определение возможных колебаний входного потока упрощает процесс принятия управленческих решений в порту в условиях неопределённости.*

*Ключевые слова: морской пассажирский терминал, законы распределения, прогнозирование, входной поток судов, морские пассажирские перевозки.*

**Для цитирования:**

*Язвенко М. Р. Анализ видов распределений для моделирования входного потока судов в пассажирский порт // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(29), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП. - 2021 – с. 23–28. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-23-28.*

## ANALYSIS OF DISTRIBUTIONS TYPES FOR MODELING FLOW OF SHIPS IN THE PASSENGER PORT

**M. R. Yazvenko**

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*This article presents a comparison of various types of mathematical distributions for arriving flow of ships using imitation model of the marine passenger port of St. Petersburg. In the course of analyzing the arrivals of cruise ships at the port in the past years, a confidence interval was determined in which the predicted number of ships entering the passenger port may fluctuate. Determination of possible fluctuations of incoming flow significantly simplifies the process of making management decisions in the port under conditions of uncertainty.*

*Key words: sea passenger terminal, ferry transportation, distribution of arrivals, forecasting, flow of ships.*

**For citation:**

*Yazvenko M. R. Analysis of distributions types for modeling flow of ships in the passenger port// System analysis and logistics.: №3(29), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 23–28. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-23-28.*

### Введение

Пассажирский порт Санкт-Петербург — первый и единственный в Северо-Западном регионе России специализированный пассажирский порт, расположенный в Санкт-Петербурге на намывных территориях Васильевского острова.

### 1. Характеристики рассматриваемого порта.

Комплекс порта включает семь причалов для приема океанских лайнеров, три круизных и один специализированный круизно-паромный терминал [1].

Порт принимает суда на основании расписания, которое составляется на год. Порт может принять суда, прибывающие вне расписания, если это не противоречит расписанию, расположенному в общем доступе на официальном сайте порта [2]. Анализ расписания 2019 года показал, что в порту обслужилось 265 судов за год, а прибытия обладали сезонностью с пиковой интенсивностью в июле, как представлено в источнике [3].

Порт может быть описан и проанализирован как семиканальная система массового обслуживания.



На заходы судов могут влиять различные факторы, например, погодные условия, задержки в других портах или изменение маршрута судна. Это может вызвать как отказ от прибытия планируемыми суднами, так и появление новых, желающих обслужиться вне расписания. По этой причине, прогноз точного значения судов, которые зайдут в порт за год, практически невозможно. Для более точного принятия управленческих решений в условиях неопределённости, можно стремиться к снижению неопределённости, прогнозируя возможные отклонения входного потока судов от планируемого значения.

## 2. Сравнение видов распределений

В качестве математического аппарата были выбраны модели систем массового обслуживания. В работах [4-6] доказывалось, что данные модели можно использовать для моделирования работы порта и ответа на вопрос по прогнозированию развития. Представленные модели позволяют учитывать влияние внешней среды, что повышает точность принятия решений по режиму дальнейшей работы морского пассажирского порта. Исследуемым параметром является входная интенсивность.

Согласно теории массового обслуживания, для описания входных потоков, как правило, используют пуассоновское распределение и гамма-распределение, как представлено в работе [7]. Пуассоновское распределение применяется для независимых появлений заявок на вход системы. В данном случае для исследования под заявкой понимается заход круизного или паромного судна в порт. Такой поток, состоящий из круизных или паромных судов, обладает следующими признаками:

1. Стационарность – вероятность появления какого-либо числа судов в определённый промежуток времени, зависит только от длины этого промежутка.
2. Ординарность – в любой момент времени в систему поступает только одно судно, поскольку вероятность появления более одного пренебрежимо мала.
3. Отсутствие последствия – все суда приходят в порт независимо друг от друга.

Пусть  $\lambda$  – среднее число заявок простейшего потока, которые поступают в систему в единицу времени. Тогда вероятность появления  $k$  заявок простейшего потока за время  $t$  определяется по формуле Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!} \quad (1)$$

При моделировании интенсивности движения судов в цифровой среде, за счёт вычислительных мощностей можно рассматривать не только стационарный поток, но и стохастический, учитывающий последствие от различных внешних факторов. В реальности поток судов нестационарен, поэтому при расчётах можно учесть последствие, рассматривая временной интервал между прибывающими судами на основе гамма-распределения [4].

$$f(t) = \frac{\lambda \cdot (\lambda t)^{r-1} e^{-\lambda t}}{\Gamma(r)} \quad (2)$$

где  $t \geq 0$  — интервал между судозаходами;

$\lambda$  — интенсивность входящего потока;

$r$  — порядок распределения ( $r > 0$ ).

$\Gamma(r)$  — гамма-функция

## 3. Результаты моделирования.

Проверка применимости распределений для пассажирского морского порта Санкт-Петербург будет проводиться на основе разработанной имитационной модели, основанной на параметрах рассматриваемого порта. Порт смоделирован как система массового обслуживания на основе дискретно-событийного метода моделирования в среде



моделирования AnyLogic, описанным в источнике [8]. Время стоянки круизных или паромных судов на причалах распределяется в соответствии с реальным распределением времени стоянки, рассмотренном в работе [3].

Для каждого вида распределения входного потока было проведено 20 экспериментов со случайным начальным числом генератора случайных чисел в среде AnyLogic. Ожидаемое входное значение потока задаётся по данным 2019 года – 265 судов в год. Полученное значение не принимается к рассмотрению, если при этом в системе порта создаётся очередь. Полученные результаты моделирования занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

	Гамма	Пуассоновское	Нормальное
1	247	263	249
2	289	221	240
3	240	269	242
4	297	273	264
5	280	320	284
6	264	317	266
7	262	295	257
8	315	274	252
9	273	291	275
10	257	299	280
11	261	221	290
12	259	249	263
13	308	265	248
14	269	264	358
15	281	234	356
16	295	277	240
17	279	276	256
18	271	257	267
19	265	266	274
20	270	269	272

Нахождение доверительного интервала позволит выявить наиболее вероятный результат от применения каждого из типов распределений входного потока. Для расчёта доверительного интервала рассчитывается среднее значение и стандартное отклонение результатов экспериментов. Уровень доверия интервала выбирается равным 95%. Результаты расчётов занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Оценка доверительного интервала

	Гамма	Пуассоновское	Нормальное
Среднее значение	274.1	270	271.7
Станд. отклонение	19.3	26.7	32.6
Доверительный интервал	±8.5	±11.7	±14.3
от	265.6	258.3	257.4
до	282.6	281.7	285.9

По полученным данным составим графики, на которых будет выделено отклонение результатов от среднего значения для оценки разброса результатов при применении каждого из распределений.

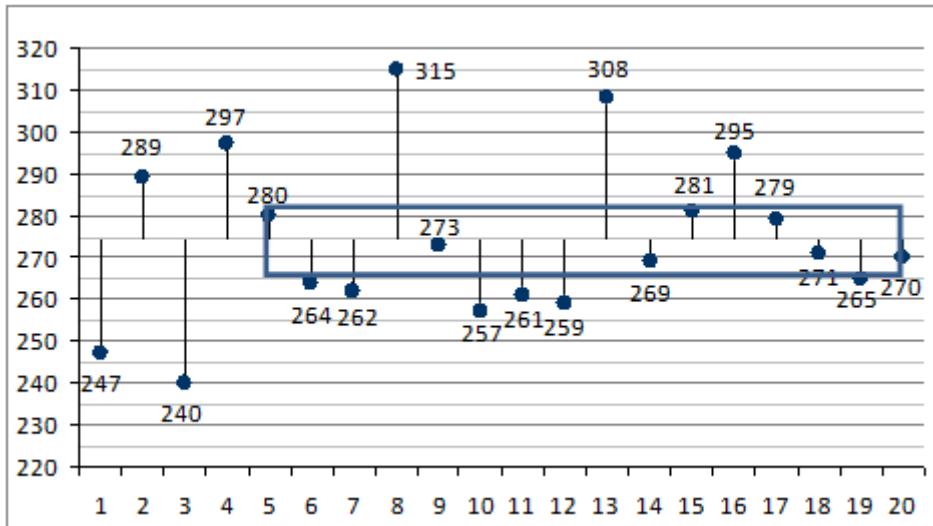


Рис.1. Результаты моделирования потока с гамма-распределением

Применение гамма-распределения показывает наименьшее отклонение результатов экспериментов от среднего показателя.

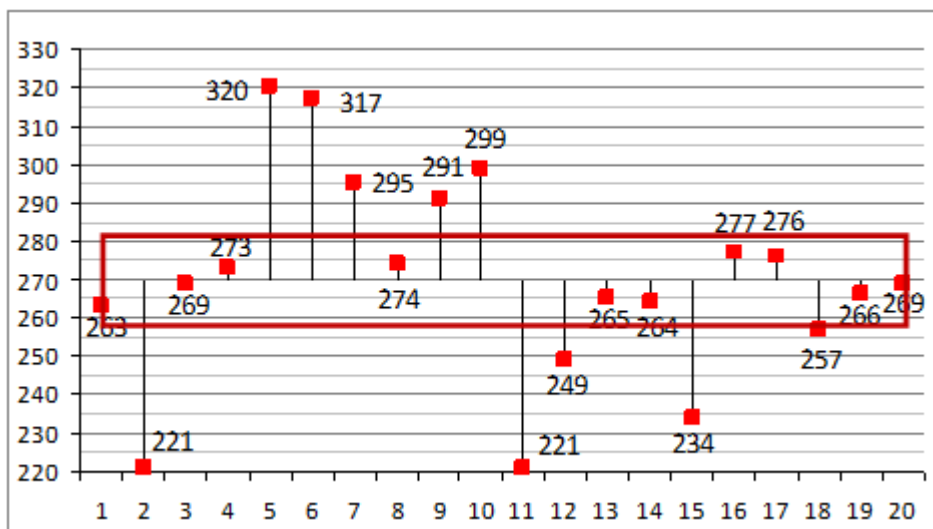


Рис.2. Результаты моделирования потока с Пуассоновским распределением

При применении распределения Пуассона наибольшее число результатов попало в доверительный интервал среди рассмотренных распределений. Однако, в ходе моделирования было получено большое количество результатов со значительным отклонением от среднего. Такие колебания результатов маловероятны в реальном порту, что ограничивает использование данного распределения.

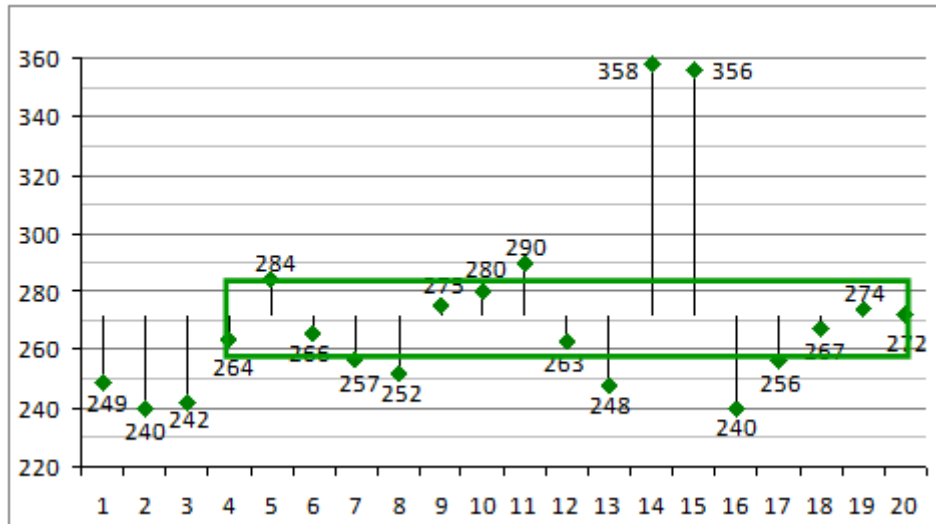


Рис.3. Результаты моделирования потока с нормальным распределением

Нормальное распределение показало наибольший разброс результатов из рассмотренных распределений, что отразилось в наибольшем доверительном интервале.

Для оценки необходимости принятия решений в условиях неопределённости необходимо с достаточной точностью знать возможные колебания входного потока. Наибольшую точность даст объединение доверительных интервалов всех распределений, таким образом, на выходе получается доверительный интервал, удовлетворяющий всем распределениям. Такой интервал и будет являться наиболее вероятным прогнозом возможного количества поступающих в порт судов.

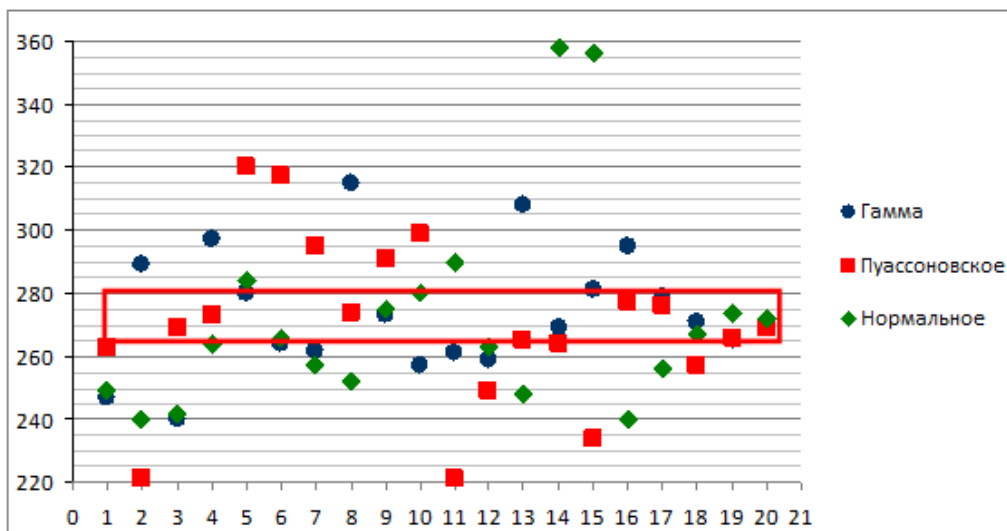


Рис.4. Совмещённые результаты экспериментов

Данный интервал выделен на рисунке 4 красным цветом и составляет от 265 до 282 судов в год. При этом стоит отметить, что в ходе моделирования данных интенсивностей, в порту не создавалось очереди. Это позволяет сделать вывод, что входной поток судов может колебаться в пределах 264-287 судов в год, которые рассматриваемый порт может принимать без сбоев в работе.

### Заключение

В результате проведенного исследования, были рассмотрены различные методы описания входного потока судов при моделировании работы рассматриваемого порта. На



основе полученных в ходе моделирования результатов, был спрогнозирован интервал возможных колебаний количества прибывающих судов в порт в течение года. Прогноз был выполнен с учётом реальной структуры судопотока за прошедшие года навигации по значению интенсивности 2019 года. Прогнозирование возможных колебаний судопотока, особенно в условиях современной эпидемиологической обстановки, позволяет снизить неопределённость и заранее подготовиться к принятию соответствующих управленческих решений в морских пассажирских портах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общая информация - Пассажирский порт Санкт-Петербург Морской фасад. – Режим доступа: [https://www.portspb.ru/O\\_porte/about](https://www.portspb.ru/O_porte/about) (дата обращения 10.05.2021)
2. Правила приема и обслуживания судов Открытым акционерным обществом «Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад». СПб.: 2009. 13 с.
3. Язвенко М. Р. Исследование загруженности причалов морского пассажирского порта на основе моделирования // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 104-113. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-104-113.
4. Майоров Н. Н., Фетисов В. А. Исследование операционных процессов обслуживания пассажиров в морском пассажирском терминале с использованием моделирования // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2016. № 6 (40). С. 70–80.
5. Майоров Н. Н., Фетисов В. А. Планирование работы морского пассажирского терминала на основе исследования интенсивностей заходов круизных судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 120–128. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-120-128.
6. Бродецкий Г. Л. Системный анализ в логистике. Принятие решений в условиях неопределённости. М.: Academia, 2010. 336 с.
7. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979.
8. Морозков А. Г., Язвенко М. Р. Моделирование морского грузового порта как системы массового обслуживания в среде AnyLogic // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(26), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП. - 2020. – С. 59-66. DOI: 10.31799/2007-5687-2020-4-59-66.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Язвенко Максим Романович** –  
бакалавр кафедры системного анализа и логистики  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: maksim-yazvenko@ya.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Yazvenko Maksim Romanovich** –  
bachelor of the system analysis and logistics department  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: maksim-yazvenko@ya.ru