



РЕКУРСИВНЫЕ ОЦЕНИВАТЕЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Я. Я. Эглит¹, К. Я. Эглите², М. А. Шаповалова¹, А. А. Юрченко¹

¹Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

²Санкт-Петербургский институт экономики и управления

В статье представлены результаты применения рекурсивных оценщиков. Большое значение при этом имеет реализация оценивания параметров в информационных системах различных вариантов сигналов и структур рассматриваемых моделей.

Ключевые слова: оценивание, рекурсивные оценщики, модели, системы, вектор, наименьшие квадраты, величины.

Для цитирования:

Эглит Я. Я., Эглите К. Я., Шаповалова М. А., Юрченко А. А. Рекурсивные оценщики и их применение // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(29), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 3–8. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-3-8.

RECURSIVE EVALUATORS AND THEIR IMPLEMENTATION

Y. Y. Eglit¹, K. Y. Eglite², M.A. Shapovalova¹, A.A. Yurchenko¹

¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

²Saint-Petersburg Institute of economics and management

The results of implementation of recursive evaluators are introduced in the present article. Realization of parameter estimation of different structural and signal models is essential in information systems.

Key words: estimation, recursive evaluators, models, systems, vector, least squares algorithm, values.

For citation:

Eglit Y. Y., Eglite K. Y., Shapovalova M. A., Yurchenko A. A. Recursive evaluators and their implementation // System analysis and logistics. №3(29), ISSN2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p.3–8. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-3-8.

1. Введение

Выбор вычислительных процедур, основанных на рекуррентных схемах, играет важную роль в реализации процессов оценивания параметров сигналов и структур построения моделей в информационных системах. Их эффективное использование во многом определяет производительность вычислительных средств. Например, рекуррентный метод наименьших квадратов позволяет значительно сократить число операций за счет аддитивной составляющей, используемой в процессе инверсии информационной матрицы.

2. Рекурсивные оценщики

Ниже рассмотрим модели наблюдаемых величин,

$$y_i = H_i + w_i, \quad i = 1, \dots, k, \quad (1)$$

обладающей свойствами, приписанными переопределенной системе. Среднее значение шума w равно нулю. Заметим, что матрица H , изменяется от шага к шагу.

Выборку объемом “ K ” представим в виде матричного уравнения

$$H^{(k)}x + w^{(k)} = y^{(k)}, \quad (2)$$

где $y^{(k)}$ - m -мерный составной вектор-столбец

$$y^{(k)} = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_k]^T,$$



$H^{(k)}$ – матрица размерности $(m \times n)$, $w^{(k)}$ – $(m \times 1)$ – мерный вектор:

$$H^{(k)} = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \vdots \\ H_k \end{bmatrix}; w^{(k)} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_k \end{bmatrix}$$

Так как результат каждого наблюдения может представляться вектором, то размерность m больше k . Система (1) имеет полный ранг n , причем $m \geq n$.

Минимум для критерия качества [2]:

$$J(x_k) = \frac{1}{2} (y^{(k)} - H^{(k)} x_k)^T V_k^{-1} (y^{(k)} - H^{(k)} x_k), \quad (3)$$

где V^k – ковариационная матрица, обеспечивается с помощью оценки

$$\hat{x}_k = (H^{(k)T} \cdot V_k^{-1} H)^{-1} \cdot H^{(k)T} \cdot V_k^{-1} \cdot y^{(k)} \quad (4)$$

Предположим, что выполнено $(k+1)$ -ое измерение y_{k+1} , H_{k+1} и w_{k+1} . Тогда новое измерение, согласно (1), можно представить с помощью уравнения:

$$y_{k+1} = H_{k+1} x + w_{k+1} \quad (5)$$

с вектором x неизменной размерности $(n \times 1)$.

Присоединим (5) к системе уравнений (2). С этой целью запишем:

$$y^{(k+1)} = \begin{bmatrix} y^{(k)} \\ \dots \\ y_{k+1} \end{bmatrix}; H^{(k+1)} = \begin{bmatrix} H^{(k)} \\ \dots \\ H_{k+1} \end{bmatrix}; w^{(k+1)} = \begin{bmatrix} w^{(k)} \\ \dots \\ w_{k+1} \end{bmatrix}$$

Общепринятая процедура (4) предполагает выполнение повторных вычислений в полном объеме и получение оценки:

$$\hat{x}_{k+1} = (H^{(k+1)T} \cdot V_{k+1}^{-1} \cdot H^{(k+1)})^{-1} \cdot H^{(k+1)T} \cdot V_{k+1}^{-1} \cdot y^{(k+1)} \quad (6)$$

Индексы при \hat{x}_k и \hat{x}_{k+1} выбраны условно, чтобы показать переход от k измерений к $(k+1)$ измерениям (размерность \hat{x} не изменяется).

Тот факт, что добавление каждого нового результата наблюдений приводит к необходимости повторения всех вычислений, послужил отправной точкой для новых исследований, проводимых с целью отыскания последовательных алгоритмов, которые способствовали бы уменьшению объема вычислений или, по крайней мере, базировались на вычислениях, исполненных на предшествующих шагах. В результате получены алгоритмы, с помощью которых новые наблюдения учитываются как поправки, вносимые в значения уже имеющихся оценок. При этом полностью повторять вычисления не требуется. Такие алгоритмы могут быть определены при условии, что справедливо выполнение предположения о том, что весовая матрица V_{k+1}^{-1} подчиняется разделению на блоки [3]:

$$V_{k+1}^{-1} = \begin{bmatrix} V_k^{-1} & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \vdots & V_{k+1}^{-1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Из (7) видно, что мы отказываемся от необходимости взвешивать произведения ошибок между результатами первых k и $(k+1)$ -го нового наблюдений. Взамен же получаем эффективные вычислительные алгоритмы, обладающие уменьшением числа операций ЭВМ на несколько порядков.

В соответствии с процедурами преобразований блочных матриц, для равенства (7)



произведение $H^{(k+1)} \cdot V^{(k+1)} \cdot H^{(k+1)}$ можно записать:

$$\begin{aligned} H^{(k+1)T} \cdot V_{k+1}^{-1} \cdot H^{(k+1)} &= [H^{(k)T} \quad \vdots \quad H_{k+1}^T] \cdot \begin{bmatrix} V_k^1 & \vdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \vdots & V_{k+1}^1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H^{(k)} \\ \vdots \\ H_{k+1} \end{bmatrix} = \\ &= H^{(k)T} \cdot V_k^{-1} \cdot H^{(k)} + H_{k+1}^T \cdot v_{k+1}^{-1} \cdot H_{k+1} \end{aligned} \quad (8)$$

Введем обозначения:

$$S_k = (H^{(k)T} \cdot V_k^{-1} \cdot H^{(k)})^{-1}$$

Тогда, согласно (8), для сокращения записи можно обозначить S_{k+1} как

$$S_{k+1}^{-1} = S_k^{-1} + H_{k+1}^T \cdot v_{k+1}^{-1} \cdot H_{k+1}$$

и, следовательно, ее обращение

$$S_{k+1} = (S_k^{-1} + H_{k+1}^T v_{k+1}^{-1} H_{k+1})^{-1} \quad (9)$$

Применим к (9) лемму об обращении матриц для дальнейшего преобразования и упрощения процедуры вычислений:

$$S_{k+1} = S_k - S_k H_{k+1}^T (v_{k+1} + H_{k+1} \cdot S_k \cdot H_{k+1}^T)^{-1} \cdot H_{k+1} \cdot S_k \quad (10)$$

Если вектор нового измерения y_{k+1} в уравнении (5) вырождается в скалярную величину, то матрица $(v_{k+1} + H_{k+1} \cdot S_k \cdot H_{k+1}^T)$ также будет скалярной величиной. И ее обращение не представляет труда, поскольку сводится к обычному делению:

Пусть $v_{k+1} = 1$ и $H_{k+1}^T = a$. Тогда (10) принимает вид:

$$S_{k+1} = S_k - S_k \cdot a (1 + a^T S_k \cdot a)^{-1} \cdot a^T \cdot S_k \quad (11)$$

Этот результат совпадает с формулой из известной работы Роберта С.К.Ли [1]. Получен очень полезный результат, поскольку для нахождения новой оценки нет необходимости инвертировать матрицы большой размерности с получением новых измерений. Новая оценка определяется как старая, с которой суммируется линейный поправочный член, основанный на новой информации y_{k+1} , a и старой S_k :

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + S_k a (a^T S_k a + 1)^{-1} \cdot (y_{k+1} - a^T \cdot \hat{x}) \quad (12)$$

Рекуррентное оценивание начинается с заданных значений x_0 и S_0 . Если они не заданы, а имеется в наличии система из n уравнений, мы должны получить S_n , x_n , а затем с помощью (12) выполнить последующие оценки.

Для получения рекуррентного алгоритма в общем случае (для вектора y_{k+1}) введем обозначение части второго слагаемого (10):

$$K_{k+1} = S_k \cdot H_{k+1}^T (v_{k+1} + H_{k+1} \cdot S_k \cdot H_{k+1}^T)^{-1}$$

Поскольку уравнение (6) можно записать в следующем виде:

$$\hat{x}_{k+1} = S_{k+1} \cdot H^{(k+1)T} \cdot V_{k+1}^{-1} \cdot y^{(k+1)} \quad (13)$$

то, подставляя в (13) выражение (10), мы можем записать

$$\hat{x}_{k+1} = [S_k - S_k H_{k+1}^T (v_{k+1} + H_{k+1} \cdot S_k \cdot H_{k+1}^T)^{-1} \cdot H_{k+1} \cdot S_k] \cdot H^{(k+1)T} \cdot V_{k+1}^{-1} \cdot y^{(k+1)} \quad (14)$$

Обращаясь вновь к специально выбранной форме ковариационной матрицы (7), с учетом



того, что произведение

$$H^{(k+1)T} \cdot V_{k+1}^{-1} \cdot y^{(k+1)} = H^{(k)T} V_k^{-1} y^{(k)} + H_{k+1}^T \cdot v_{k+1}^{-1} y_{k+1}, \quad (15)$$

мы можем получить оценку \hat{x}_{k+1} в следующем виде:

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + K_{k+1}(y_{k+1} - H_{k+1} \cdot \hat{x}_k) \quad (16)$$

Это выражение получено с учетом того, что если в (15) первое слагаемое в правой части умножить на S , то оно будет представлять собой оценку \hat{x}_k (без учета новых данных) [3,4].

Возвращаясь к (16), мы должны отметить, что каждое последующее значение оценки следует производить по предыдущей с добавлением поправки, зависящей от размерности y_{k+1} и ожидаемого значения $H_{k+1}\hat{x}_k$.

Работу рекурсивного оценивателя (16) продемонстрируем на следующем примере.

Предположим, что требуется оценить коэффициенты модели

$$y = ax + b$$

по следующим экспериментальным данным в пяти точках на плоскости (x, y) :

$$(0,1), (1,2), (2,4), (4,5), (5,6)$$

Сформируем матрицу H и вектор y :

$$y = [1 \ 2 \ 4 \ 5 \ 6]'; \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 4 & 5 \end{bmatrix}$$

Будем считать, что требуется рекурсивно оценить “а” и “в” по следующим данным: на первом шаге

$$H1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}; \quad y_1 = [1 \ 2 \ 4]'$$

на втором шаге

$$H2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 4 & 5 \end{bmatrix}; \quad y_2 = [5 \ 6]'$$

Решение выполним для $V_1^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ и $v_2^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

Для оценки \hat{x}_1 используем операцию левого деления:

$$\hat{x}_1 = H1 \setminus y_1 = \begin{bmatrix} 1.5000 \\ 0.8333 \end{bmatrix}$$

Затем определим $S1$:

$$S1 = (H1^T * I^{-1} * H1)^{-1} = \begin{bmatrix} 0.5000 & -0.5000 \\ -0.5000 & 0.8333 \end{bmatrix}$$

Для расчета $S2$ по формуле (10) предварительно найдем матрицу D , равную

$$D = (v_2 + H2 \cdot S1 \cdot H2^T)^{-1} = \begin{bmatrix} 0.6512 & -0.4419 \\ -0.4419 & 0.4070 \end{bmatrix}$$

Затем, используя D , получим:



$$S2 = S1 - S1 * H2^T * D * H2 * S1 = \begin{bmatrix} 0.0581 & -0.1395 \\ -0.1395 & 0.5349 \end{bmatrix}$$

Оценка коэффициентов “а” и “в” на втором шаге, согласно (16), будет состоять из оценки x_1 и дополнительной составляющей, определяющей «вклад» экспериментальных данных на втором шаге. Поскольку $v_2^{-1} = I$, для оценки используем выражение:

$$\hat{x}2 = \hat{x}1 + S2 * H2^T * (y2 - H2 * \hat{x}1) = \begin{bmatrix} 0.9767 \\ 1.2558 \end{bmatrix}$$

Для вычислений мы предлагаем файл “sahop203.m”, содержащий исходные данные, из которых путем “вырезки” из матрицы H получены H1, H2, y1 и y2. Затем по приведенным выше соотношениям рассчитаны S1, D, S2 и получены $\hat{x}1$ и $\hat{x}2$.

```
% Файл “sahop203.m”.
% Последовательный алгоритм МНК.
y = [1 2 4 5 6]'; H = [0 1 2 4 5; 1 1 1 1 1]';

H1 = H(1:3,:);
H2 = H(4:5,:);
y1 = y(1:3,:);
y2 = y(4:5,:);
S1 = inv(H1' * H1);
D = inv([1 0; 0 1] + H2 * S1 * H2');
S2 = S1 - S1 * H2' * D * H2 * S1;
% Вычисление оценок:

x1 = H1 \ y1
x2 = x1 + S2 * H2' * (y2 - H2 * x1)
```

В заключение проведена проверка решения путем использования прямой оценки по формуле:

$$\hat{x} = H \setminus y = \begin{bmatrix} 0.9767 \\ 1.2558 \end{bmatrix}$$

Этот результат эквивалентен $\hat{x}2$.
Таким образом, модель

$$y_m = 0.9767 * x + 1.2558$$

3. Заключение

Разработаны основы процедур оценивания сигналов в информационных системах по экспериментальным данным.

Выведены математические соотношения параметров сигналов в условиях ограничений.

Представлено применение рекурсивных оценщиков.

Разработан алгоритм проверки качества модели путем нахождения числа обусловленности матрицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление. – М.: Наука, 1986. – 174 с.



2. Беллман Р. Введение в теорию матриц. – М.: Наука, 1998. – 271 с.
3. Эглите К. Я. Кумуляция сведений об информационных потребителях морского порта. – СПб.: Петровский фонд, 2018. – 171–178 с.
4. Эглит Я. Я. Менеджмент и маркетинг. – СПб.: Феникс, 2016. – 380 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Эглит Ян Янович –

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Управления транспортными системами ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова

ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

E-mail: eglit34@mail.ru

Эглите Катрина Яновна –

д. э. н., профессор кафедры логистики Санкт-Петербургского института экономики и управления

Частное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский институт экономики и управления»

194044, г. Санкт-Петербург, Крапивный переулок, 5

Шаповалова Мария Андреевна–

к. т. н., доцент кафедры Управления транспортными системами

ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

Юрченко Анастасия Андреевна –

магистр кафедры “Управление транспортными системами”

ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Eglit Yan Yanovich –

DtS, Professor, head of the department TSM Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, Russia, 198035

E-mail: eglit34@mail.ru

Eglite Katrina Yanovna –

DeS., Professor Department of Logistics Institute of Economics and Management

Saint-Petersburg Institute of economics and management

5, Krapivniy side St, Saint-Petersburg, Russia, 194044

Shapovalova Maria Andreevna–

candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of UTS

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, Russia, 198035

Yurchenko Anastasia Andreevna –

Master of the Department " Management of Transport Systems”

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, Russia, 198035



УДК 629.735.33

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-9-14

АНАЛИЗ АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ОСОБО ВАЖНЫХ ГРУЗОВ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ю. А. Силин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье кратко рассмотрены возможности применения квадрокоптеров для быстрой доставки особо важных грузов и приведены примеры возможных аппаратных комплексов, которые смогут это обеспечить. Приведённые примеры были проанализированы и сравнены друг с другом, вследствие чего был заключён вывод об оптимальности выбора конструкции аппаратного комплекса для каждого типа груза.

Ключевые слова: квадрокоптеры, экспресс-доставка грузов, особо важные грузы, аппаратные комплексы для доставки, оптимизация доставки.

Для цитирования:

Силин Ю. А. Анализ аппаратных комплексов для доставки особо важных грузов с помощью беспилотных авиационных систем // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(29), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 9–14. РИНЦ, DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-9-14.

ANALYSIS OF HARDWARE SYSTEMS FOR THE DELIVERY OF PARTICULARLY IMPORTANT CARGO USING UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Y. A. Silin

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article briefly discusses the possibilities of using quadcopters for fast delivery of especially important goods and provides examples of possible hardware systems that can provide this. The given examples were analyzed and compared with each other, as a result of which a conclusion was made about the optimality of choosing the design of the hardware complex for each type of cargo.

Key words: quadcopters, express cargo delivery, especially important cargo, hardware complexes for delivery, delivery optimization.

For citation:

Silin Y. A. Analysis of hardware complexes for the delivery of especially important cargo using unmanned aircraft systems // System analysis and logistics. №3(29), ISSN2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p.9–14. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-9-14.

Введение

Электронный документооборот стал общепринятым способом передачи информации. Но особо важную корреспонденцию, имеющую юридическую ценность, принято учитывать и направлять партнерам в виде бумаг, оформленных и заверенных соответствующим образом. С этой целью создана срочная доставка посылок и документов, писем и компактных грузов, осуществляемая курьерскими службами.

Работа служб экспресс-доставки – это отдельное направление в огромном спектре транспортно-логистических услуг [1]. В отличие от стандартных транспортно-экспедиционных компаний, которые делают акцент на доставке крупногабаритных и сборных грузов, компании экспресс-доставки или курьерские службы обращают внимание, в первую очередь, на скорость грузоперевозки. Особое внимание в своей деятельности курьерская служба уделяет доставке следующих грузов:

- 1) официальных бумаг (корреспонденции, документов, почты),
- 2) отправлениям из интернет-магазинов.

Точные логистические расчеты, безусловное выполнение обязательств, контроль каждого отправления на всем пути следования – главные критерии оценки работы таких компаний. Следование схеме «от двери до двери» полностью исключает проблемы, связанные



со срывами сроков и потерь корреспонденции в пути [2].

Популярная сегодня экспресс-доставка по России оформляется онлайн и занимает всего несколько минут. Все дальнейшие действия поручаются курьеру. В течение расчетного времени документы или посылка будут доставлены и вручены адресату. Данный сервис широко используется не только в бизнесе, но и частными лицами [3].

Регулируется экспресс-доставка в России следующим нормативным документом - Приказ ФГУП Почта России от 07.03.2019 N 98-п об утверждении порядка приема и вручения внутренних регистрируемых почтовых отправлений [4].

Анализ самых популярных компаний, занимающихся экспресс-доставкой в России.

Таблица 1 - Сравнение компаний

№	Название компании	Стоимость экспресс-доставки корреспонденции «от двери до двери»	Срок доставки	Количество пунктов выдачи
1	СДЭК	380 рублей	1 день	3689
2	КСЭ	776 рублей	2-12 часов	1500
3	DPD	779 рублей	1 день	2500
4	DHL	1315 рублей	1 день	209
5	Pony Express	500 рублей	2-6 часов	3 976

Названия компаний, представленных в таблице выставлены по рейтингу в России соответственно. Наиболее популярной является компания СДЭК, которая работает в сфере перевозки малогабаритных грузов с 2000 года. Имеет более 1 000 000 активных пользователей по всей планете, более 6000 курьеров, делает около 200 000 отправок в день и функционируют в 19 странах [5].

Альтернатива наземной экспресс-доставке.

Обычно такая доставка по городу занимает от 18-ти до 2-х часов [6]. Для некоторых важных грузов это может быть слишком большой срок. Для доставки таких грузов будет эффективнее использовать альтернативу наземной доставке – воздушную доставку. Такая доставка будет осуществляться при помощи беспилотных летательных аппаратов. Наиболее рациональным будет использовать квадрокоптер, так как он имеет ряд важных преимуществ перед беспилотниками самолётного типа, таких как возможность вертикального взлёта и посадки, что позволит доставлять посылку практически в любое открытое место; возможность полёта на низкой скорости, что даёт возможность сократить путь, маневрируя между зданиями. Также квадрокоптер имеет преимущества перед конвертопланом, который представляет из себя гибрид квадрокоптера и беспилотника самолётного типа, так как он дешевле и проще в эксплуатации и обслуживании [7].

Возможный принцип работы беспилотной авиадоставки важных грузов при помощи квадрокоптера.

Авиадоставка должна состоять из следующих пунктов:

- 1) Создание заказа при помощи специализированного онлайн сервиса.
- 2) Передача груза отправителем может осуществляться путём доставки в выбранный специализированный хаб (узел, где производится погрузка, разгрузка и обслуживание квадрокоптера), где автоматически или полуавтоматически груз будет установлен на квадрокоптер или путём самостоятельного помещения груза в грузовой модуль квадрокоптера на специализированной безопасной посадочной площадке. Данные операции так же могут производиться курьером [8].
- 3) Если расстояние от точки загрузки и точки выгрузки меньше 10 километров, то



квадрокоптер может осуществлять доставку напрямую. Если расстояние больше 10 километров, то автоматически составляется оптимальный маршрут между хабами, на которых квадрокоптер будет менять аккумулятор или заменяться на перекладной. Расстояние между такими хабами может быть от 5-ти до 15-ти километров.

4) Получение груза будет производиться путём выдачи в ближайшем хабе или путём самостоятельного получения из грузового отсека квадрокоптера в безопасном для посадки месте.

На предприятиях, у которых есть частая потребность в быстрой доставке важных грузов между корпусами зданий, расстояние между которыми не превышает 15 километров, могут быть установлены интегрированные хабы, использующиеся только данным предприятием. Это поможет ускорить доставку и упростить процедуру создания заявки, а также отправления и приёма груза.

Практическая реализация доставки важных грузов при помощи квадрокоптера

Для доставки важных грузов необходим универсальный модуль, который будет отвечать следующим требованиям:

- 1) Возможность размещения всех типов документов и корреспонденции.
- 2) Возможность вмещения небольших типов грузов.
- 3) Надёжность, прочность и герметичность, для обеспечения сохранности транспортируемого важного груза.
- 4) Удобное крепление для возможности быстрой смены квадрокоптера для транспортировки на относительно дальние расстояния при использовании перекладных квадрокоптеров.

Полностью готовых решений таких модулей на данный момент не существует, поэтому в статье будут рассмотрены возможные варианты универсальных и узкоспециальных модулей для доставки важных грузов при помощи квадрокоптера.

1) Наиболее универсальным является подвес в форме тубуса. Стандартные тубусы для чертежей имеют диаметры от 40 мм до 120 мм. Оптимальным будет диаметр 120 мм, для того чтобы в случае необходимости можно было транспортировать небольшие посылки. Длина стандартных тубусов обычно не превышает 750 мм, что позволяет транспортировать листы до формата А1 включительно. В качестве базы для создания подвеса можно использовать имеющиеся в продаже тубусы (они отвечают требованиям герметичности и прочности, а также легко доступны), и модифицировать их для возможности крепления на квадрокоптер. В качестве основного материала изготовления чаще всего используется пластик, реже- лёгкие металлы [9].



Рис. 1. Концепт подвеса в виде тубуса

2) Более узкоспециальным является модуль в виде контейнера. Больше всего он подходит для небольших посылок и для корреспонденции, которую можно складывать для компактности. Размеры таких контейнеров зависят от размеров посылок, которые будут транспортироваться при помощи него. В качестве материала изготовления чаще всего используется пластик.



Рис. 2. Контейнер

3) Охлаждающие контейнеры. Являются узкоспециальными и используются для транспортировки медикаментов и скоропортящихся продуктов. Подразделяются на 3 основных типа:

- Термоизоляционные контейнеры. Работают по принципу аккумуляции температуры. Могут сохранять температуру не только холодного, но и горячего груза в течение определённого времени, путём защиты его от внешних воздействий. Корпус состоит пластика и термоизоляции.



Рис. 3. Термоизоляционный контейнер

- Контейнеры с сухим льдом. Корпус состоит из картона, а в качестве охлаждающего элемента используется сухой лёд. Имеет две особенности: из-за слишком низкой температуры сухого льда может произойти переохлаждение груза; при таянии сухого льда выделяется большое количество углекислого газа, что может привести к порче груза.



Рис. 4. Контейнер с сухим льдом



- Контейнеры с возможностью поддержания заданной температуры. Может поддерживать заданную температуру в диапазоне от -6°C до 23°C в течение определённого времени. Корпус состоит из пластика и термоизоляции. В качестве охлаждающего элемента используется элемент Пельтье [10].



Рис.5. Охлаждающий контейнер с возможностью поддержания заданной температуры

Сравнение возможных аппаратных комплексов для доставки важных грузов
 Таблица 2 - Сравнение аппаратных комплексов

Название	Тубус	Контейнер	Термоизоляционный контейнер	Контейнер с сухим льдом	Контейнер с возможностью поддержания заданной температуры
Характеристика					
Возможность транспортировки документов	да	Да	нет	нет	нет
Возможность транспортировки небольших посылок	да	Да	да	да	да
Возможность транспортирования спецгрузов (медикаментов)	нет	Нет	да	да	да
Удобство использования без квадрокоптера.	да	Нет	да	нет	да
Примечание	нет	Нет	Может аккумулировать как тепло, так и холод	Имеет низкую прочность и отсутствие герметичности	Требуется источник питания

Заключение

В рамках данной статьи были найдены и проанализированы аппаратные комплексы, которые могут быть разработаны и использованы для быстрой транспортировки особо важных грузов при помощи квадрокоптера, что может стать хорошей альтернативой наземной экспресс-доставке. Все представленные варианты аппаратных комплексов являются в той или иной степени более подходящими для конкретных типов грузов. Так для транспортировки документов больше всего подходит тубус, для небольших посылок контейнер, а для медикаментов и скоропортящихся продуктов охлаждающие контейнеры.

Были проанализированы наиболее популярные компании, осуществляющие экспресс-



доставку в России. В будущем все из представленных компаний могут начать использовать беспилотную авиадоставку [10]. Был представлен возможный принцип действия такой доставки.

Из представленных вариантов аппаратных комплексов только контейнер с возможностью поддержания заданной температуры имеется в виде прототипа, выполняющего все функции, прошедшего апробацию в нескольких научных конкурсах и конференциях. Данный прототип требует доработки для представления конечного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Что такое экспресс-доставка [Электронный ресурс] // Postdepo. – URL: <https://www.postdepo.ru/faq/srochnaya-dostavka-cto-eto-i-kak-rabotaet/> (дата обращения: 31.06.2021).
2. Экспресс-доставка [Электронный ресурс] // Expresslain - URL: <https://expresslain.ru/article/706> (дата обращения: 31.06.2021)
3. Как работает экспресс-доставка [Электронный ресурс] // Tnsph. - URL: https://tnspb.ru/v-pomoshh-ehkspeditoru/stati-po-logistike-_stranica-13/_kak-rabotaet-ehkspress_dostavka.htmlplus (дата обращения: 31.06.2021)
4. Приказ ФГУП "Почта России" [Электронный ресурс] // Legalacts. - URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-fgup-pochta-rossii-ot-07032019-n-98-p-ob/> (дата обращения: 31.06.2021)
5. СДЭК срочная доставка лёгких грузов [Электронный ресурс] // Cdek. - URL: <https://www.cdek.ru/ru/express-light> (дата обращения: 31.06.2021)
6. Доставка по Санкт-Петербургу и Ленинградской области [Электронный ресурс] // CSE. – URL: <https://www.cse.ru/spb/services/subcategory/dostavka-po-sankt-peterburgu-i-leningradskoj-oblasti/> (дата обращения: 31.06.2021).
7. Основы автономного управления беспилотными авиационными системами: учебное пособие / Н. Н. Майоров, А. С. Костин, Д. В. Еленин // Санкт-Петербург: ГУАП, 2020. - 75 с.
8. Костин А. С., Еленин Д. В. Методы доставки грузов при помощи беспилотных летательных аппаратов // Системный анализ и логистика. 2020. - №1(23). – с. 55-64.
9. Силин Ю. А. Разработка охлаждающего контейнера способного поддерживать заданную температуру при транспортировке // Системный анализ и логистика. 2020. - №2(28). – с. 97-103.
10. Костин А. С., Богатов Н. В. Рынок беспилотных летательных аппаратов в России и мире. Современные тренды и перспективы развития // Системный анализ и логистика. 2019. - №4(22). – с. 65-72.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Силин Юрий Андреевич

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: foto2001u@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Silin Yuri Andreevich

Bachelor of the Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: foto2001u@mail.ru



РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА В СИСТЕМУ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ НА ПРИМЕРЕ АЭРОПОРТА «ПУЛКОВО»

А.Е. Евтушенко

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В данной статье рассматривается рентабельность введения автоматизированного аппаратного комплекса в систему прохождения предполетных процедур. Описываются технологические решения на этапах: регистрации, сдачи багажа, посадки, а также паспортного и таможенного контроля. В комплексе предлагается введение автоматической регистрации, самостоятельной сдачи багажа, аппаратная идентификация биометрических данных при паспортном и пограничном контроле, проход на посадку путем сканирования QR-кода с экрана смартфона. Комплекс направлен на улучшение сервисных услуг и повышение скорости обслуживания пассажиров на примере аэропорта Пулково. Рассматривается опыт других стран и существующие технологии.

Ключевые слова: воздушный транспорт, аэропорт, автоматизированная система пограничного контроля, обслуживание пассажиров, Санкт-Петербург.

Для цитирования:

Евтушенко А.Е. Разработка предложений по внедрению автоматизированного аппаратного комплекса в систему обслуживания пассажиров на примере аэропорта «Пулково» // Системный анализ и логистика: журнал. : выпуск №, ISSN 2007-5687.-СПб.: ГУАП.,2021, с. 15–22. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-15-22.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED HARDWARE COMPLEX IN THE PASSENGER SERVICE SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE PULKOVO AIRPORT

A.E. Evtushenko

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

This article discusses the profitability of introducing an automated hardware complex into the system of passing pre-flight procedures. Technological solutions are described at the stages: check-in, baggage check-in, boarding, as well as passport and customs control. The complex offers the introduction of automatic check-in, self-baggage check-in, hardware identification of biometric data at passport and border control, boarding pass by scanning a QR code from a smartphone screen. The complex is aimed at improving services and increasing the speed of passenger service on the example of Pulkovo Airport. The experience of other countries and existing technologies are considered.

Key words: air transport, airport, automated border control system, passenger service, St. Petersburg.

For citation:

Evtushenko A.E. Development of proposals for the implementation of an automated apartment complex in the passenger service system on the example of the Pulkovo airport: ISSN 2007-5687.-Russia, Saint-Petersburg.: SUAI.,2021-p. 15 –22. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-15-22.

Введение

Воздушный транспорт на данный момент является наиболее быстрым видом транспорта, который не имеет аналогов и конкурентов. Аэропорты имеются в каждом крупном городе. С каждым годом пассажиропоток повышается, а билеты становятся доступнее. Перелеты удобнее и комфортнее поездок на машине или поезде. По мере популяризации авиапутешествий и увеличения направлений растет пассажирский трафик в узловых аэропортах или авиахабах.

В 2017 году аэропорты мира перевезли более 4 миллиардов пассажиров. The International Air Transport Association (IATA) прогнозирует рост мирового авиапассажирооборота с 4 млрд до 7,8 млрд в течение следующих 20 лет, что неминуемо приведет к глобальному кризису пропускной способности аэропортов [1]. Когда растет количество рейсов и пассажиропоток, а реконструкция аэропорта с целью расширения достаточно долгий процесс - требуется



оптимизация внутренних процессов.

Один из главных параметров оценки пропускной способности аэропорта – время пребывания пассажиров в терминале [2]. Ускорить прохождение различных предполетных процедур поможет их автоматизация.

1. Стойки самостоятельной регистрации и сдачи багажа

Стойками самостоятельной регистрации никого не удивишь, они уже есть практически в каждом аэропорту и большинство людей уже имели опыт с ними ознакомиться. Чтобы пройти регистрацию на рейс нужно ввести код брони и ФИО. Однако подходит данная услуга только для пассажиров с ручной кладью. Должную популярность стойки не приобрели, частые сбои, ввод необходимых данных занимал больше времени, чем регистрация на обычной стойке. Популяризация билетов «без багажа» осложнила ситуацию необходимостью контроля провозимой ручной клади.

Немного позже саморегистрация перебралась прямо в смартфоны и компьютеры, но чаще всего до сих пор является услугой за дополнительную плату.



Рис. 1. Киоски саморегистрации в аэропорту Пулково

Ранее пройти самостоятельную регистрацию могли только пассажиры с ручной кладью, позднее были введены стойки самостоятельной сдачи багажа. Стойки были установлены и в Пулково, ещё в 2019 году, однако около года на киосках висят предупреждения о том, что трогать их нельзя. На данный момент, чтобы воспользоваться таким киоском, необходимо сначала пройти регистрацию на рейс в киосках саморегистрации и только потом обратиться уже к киоску Drop-off [3].

В статье «Разработка приложения с функцией дополненной реальности с целью ускорения обслуживания пассажиров на примере аэропорта "Пулково"» рассматривалось предложение упразднения процедуры регистрации как таковой [4]. Большинство авиакомпаний Европы уже отказались от процедуры регистрации, посадочный талон просто приходит на электронную почту. С точки зрения приложения, посадочный талон вы сможете найти в разделе билета. Если у Вас имеется потребность сдать багаж — вы можете воспользоваться стойками самостоятельной сдачи багажа, отсканировав QR-код вашего билета с экрана смартфона.

Большую часть регистрации занимает ввод данных. Будь то ввод ваших данных сотрудником аэропорта на стойке регистрации или вы вводите данные брони и ФИО на стойке



самостоятельной регистрации. QR-код поможет ускорить эту процедуру, содержа в себе необходимые данные, которые мгновенно заносятся в систему при сканировании.



Рис. 2. Киоски самостоятельной сдачи багажа

2. Стойки пограничного и паспортного контроля

На этапе пограничного и паспортного контроля QR-код заменяет посадочный талон, для прохождения паспортного контроля. Внутри шенгенской зоны в паспортном контроле нет необходимости. В России же даже при перелетах внутри страны имеется необходимость проходить паспортный контроль [5].



Рис. 3. Стойка контроля билетов

В статье «Оценка надежности автоматизированных систем пограничного контроля в аэропорту» рассматривается система пограничного контроля, в которой данные документов сканируются аппаратом, сдаются биометрические данные и после этого пассажир проходит к сотруднику таможенной службы и тот задает ему вопросы. Оценивалась эффективность такой системы с учетом возможных сбоев или выходом из работы некоторых стоек. По результатам исследования такая система не уменьшит время прохождения пассажиром всех пунктов контроля. Однако повысит комфортабельность и упростит работу специальных служб.



Действительно, если рассмотреть время, которое затрачивает сотрудник, заполняя вручную данные на пассажира или пассажир самостоятельно сканирует свои документы на стойке оно примерно одинаковое и при большом количестве измерений будет занимать примерно то же время.

Согласно полученным данным в статье Г.В. Давыдова «Оценка надежности автоматизированных систем паспортного контроля в аэропорту», среднее время обслуживания пассажира на паспортном контроле занимает около 2-х минут [6]. К примеру, автоматические шлюзы для прохождения паспортного контроля в Гонконге сокращают время обработки документов до 20 секунд. [1], что позволяет сократить затрачиваемое время в 6 раз.



Рис. 4. Стойки контроля биометрических данных

Многие опасаются утечки биометрических данных и использование их в сторонних целях. В статье «Разработка приложения с функцией дополненной реальности с целью ускорения обслуживания пассажиров на примере аэропорта "Пулково"» предлагается технология аналогичная существующей технологии Face-ID, которой доверяют свои финансы и личные данные миллионы пользователей современных смартфонов. В отличие от этой технологии записать свои данные в приложение для прохождения контролей вы сможете только при участии уполномоченного сотрудника. Таким образом ваши биометрические данные будут находиться только в Вашем смартфоне, что избавляет от потребности использования надежных и мощнейших серверов.

3. Международный опыт использования систем распознавания биометрических данных

Одной из первых стала программа США, в рамках которой граждане 27 стран при наличии биометрических документов могли въехать в страну без визы. Кроме того, западные страны (прежде всего ЕС) связывали наличие биометрических документов с возможностью предоставления права на безвизовое посещение Шенгенской зоны [1].

Более преуспела в вопросах автоматизации процессов жизненного цикла аэропорта Австралия. В аэропортах Canberra Airport и Sydney International Airport уже используется система «безбарьерного прохода» - Smart Gate, где пассажиры не пользуются паспортами или посадочными талонами.

В Гонконге паспорта заменили неким проездным документом с чипом - identity-токен. Имея такой токен можно воспользоваться автоматическим шлюзом безопасности на этапе паспортного контроля. Программу аэропорт уже протестировал и получил положительный отклик от пассажиров, администрация уже проводит модернизацию и остальных этапов



контроля и планирует в скором времени перейти на полную их автоматизацию.

Так же система автоматического паспортного контроля реализована в Финляндии. В аэропорту Хельсинки граждане ЕС, Европейской экономической зоны, Швейцарии, а также Японии, имеющие биометрические паспорта, могут воспользоваться средствами быстрого и удобного автоматического контроля. Для использования автомата паспортного контроля у пассажира должны быть действующий паспорт и виза. Сначала оборудование считывает паспорт и визу, после чего пассажир перемещается через электронные ворота в зону считывания биометрических персональных данных, где у пассажира сканируется лицо и считываются отпечатки пальцев. Контроль при выезде из страны не предусматривает считывание отпечатков пальцев. После автоматического контроля пассажир подходит к сотруднику пограничной службы, который кратко опрашивает его и ставит штамп в паспорте [6].

4. Изменение порядка предполетных процедур на примере международного перелета

Рассмотрим, как изменится прохождение предполетных процедур с применением автоматизации:



Рис. 5. Порядок предполетных процедур при международном перелете

Известно, что обслуживающая пассажиров система состоит из ряда последовательно установленных в технологическом процессе подсистем. Логистическая цепь движения летающих пассажиров и багажа в аэровокзале представлена на рис. 5.

В каждой из этих подсистем пассажир затрачивает разное время на обслуживание. В связи с этим математическая модель средней длительности обслуживания пассажиров приобретает следующий вид [7]:

$$\sum_{i=1}^k t_i = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12} + t_{13} + t_{14} + t_{15} \quad (1)$$

- t_1 - время на проверку пассажира на входе в аэровокзал;
- t_2 - время на проверку багажа пассажира при перемещении в аэровокзал;
- t_3 - время на досмотр багажа пассажира на входе в операционный зал;
- t_4 - время на приём и сверку на стойке регистрации паспорта пассажира и багажа;
- t_5 - время на набор на клавиатуре компьютера данных о билете пассажиров;
- t_6 - время на отрыв контрольного талона для ручной клади и багажа;



- t_7 - время на установку багажа на ленту транспортёра;
- t_8 - время на закрепление талона на ручке багажа;
- t_9 - время на ожидание таможенного контроля;
- t_{10} - на прохождение таможенного контроля;
- t_{11} - время, затрачиваемое на прохождение пограничного контроля;
- t_{12} - время, затрачиваемое на досмотр пассажира и ручной клади;
- t_{13} - время ожидания разрешения на посадку;
- t_{14} - время, затрачиваемое на сканирование посадочного талона;
- t_{15} - время, затрачиваемое пассажиром на проход по телескопическому трапу или посадку в автобус, отправленный к самолёту.

В результате автоматизации в данной цепочке происходят следующие изменения:

- Упрядняется как таковой процесс регистрации, посадочный талон автоматически приходит в виде QR-кода и всей необходимой информацией на телефон.
- Таможенный контроль проводит не сотрудник, а идентификация с помощью Face ID в вашем смартфоне.
- Пограничный контроль проходят люди с паспортом нового образца (биометрические данные сдаются при оформлении паспорта или при получении визы) [8].
- При посадке пропускной турникет сканирует QR-код с экрана Вашего телефона.

С учетом применения автоматизированного комплекса для обслуживания пассажиров аэропорта проанализируем как изменится среднее время обслуживания пассажиров на примере расчетной формулы 1:

$$\sum_{i=1}^k t_i = t_1 + t_2 + t_3 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12} + t_{13} + t_{14} + t_{15} \quad (2)$$

Таким образом, из формулы было исключено время, затрачиваемое на:

- t_4 - время на приём и сверку на стойке регистрации паспорта пассажира и багажа;
- t_5 - время на набор на клавиатуре компьютера данных о билете пассажиров;
- Время t_{10} и t_{11} , согласно практическому опыту использования Гонконгских автоматизированных шлюзов, сократиться примерно в 6 раз (согласно данным из 2).

Несмотря на то, что ввод автоматизированного комплекса так же несет изменения посадочной зоны, что должно отразиться на t_{14} , предполагаемое изменение времени незначительное.



Рис.6. Порядок предполетных процедур после автоматизации процедур контроля при международном перелете



В статье Н. Н. Майорова «Методы оценки пропускной способности аэровокзального комплекса с помощью имитационного моделирования» было установлено, что наиболее проблемными участками, где чаще всего наблюдаются очереди, на основе логистической цепи прохождения пассажирами предполетных процедур, являются [9]:

- Входной контроль потока пассажиров и багажа;
- Стойки регистрации пассажиров и багажа;
- Места предполетного досмотра пассажиров и ручной клади;
- Залы ожидания пассажиров;
- Стойки выдачи посадочных талонов;
- Стойки таможенного контроля;
- Зоны беспошлинной торговли

В результате внедрения аппаратного комплекса в процессе автоматизации задействуются следующие зоны из перечисленных: 2, 3, 5, 6. Можно сказать, что предложенный комплекс охватывает значительную часть «проблемных» зон аэропорта и способствует их улучшению.

Инициатива по автоматизации процесса паспортного и других видов контроля является для аэропорта одним из возможных решений проблемы возникновения заторов. При посещении аэропорта крайне редко можно увидеть все работающие стойки, это вызвано прежде всего экономией финансовых средств, пункты досмотра стремятся задействовать ровно столько сотрудников, сколько необходимо для избегания крупных «заторов». Авиакомпании (особенно лоукостеры) стремятся арендовать как можно меньше стоек регистрации, что приводит к тому, что одновременно 3–4 рейса с временной «разбежкой» в час принимаются на 5–8 стойках регистрации и возникают постоянные заторы и необходимость пропуска опаздывающих пассажиров. Если вспомнить, как часто вы попадаете в очередь в аэропорту, то первое место займет процесс регистрации пассажиров. Редко, когда удастся проскользнуть этот этап без очереди. Внедрения автоматизации процесса регистрации поможет значительно.

Внедрение биометрических решений в аэропортах позволит усилить безопасность в аэропортах, создать комфортные условия для обслуживания пассажиров. Такой подход существенно повышает качество обслуживания и предоставляет возможность сокращения затрат времени на предполетные процедуры, упрощает навигацию в аэропорту. Использование мобильного приложения в целом помогает избавиться от потока информационного шума, получать только необходимую значимую информацию и вести интерактивное общение с аэропортом [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Techportal: Системы распознавания лиц в аэропортах [Электронный ресурс] —URL: <http://www.techportal.ru/review/security-airport/biometrics/> (дата обращения 11.06.2021)
2. Таратун В. Е. Имитационное моделирование как подход в решении задач систем массового обслуживания/ Таратун В. Е., Шаперова В. С. // Журнал «Системный анализ и логистика» - Санкт-Петербург 2020г. с. 35-44.
3. Пулково: киоски самостоятельной регистрации [Электронный ресурс] — URL: https://pulkovairport.ru/passengers/passenger_registration/kiosk/ (дата обращения 11.06.2021)
4. Евтушенко А. Е. Разработка приложения с функцией дополненной реальности с целью ускорения обслуживания пассажиров на примере аэропорта "Пулково"/Евтушенко А. Е., Кропанева М. А. // Журнал «Системный анализ и логистика» — Санкт-Петербург 2021г. с. 85–96



5. Сайт Винского: перемещения внутри Шенгена [Электронный ресурс] — URL: <https://awd.ru/peremeshhenija-vnutri-shengena/> (дата обращения 15.06.2021)
6. Давыдова Г. В. Оценка надежности автоматизированных систем паспортного контроля в аэропорту/ Давыдова Г. В., Костин А. С., Рубинов В. В. // Журнал «Системный анализ и логистика» — Санкт-Петербург 2016 г. с. 23–28
7. В. Шведов «Методика оценки пропускной способности аэровокзала международного аэропорта» / Василий Шведов, Александр Мочалов, Алексей Новиков//Журнал «ЛОГИСТИКА» —«Агентство Маркет Гайд» 2012г выпуск №3- с 44–46.
8. Migrant Visa: Оформление нового биометрического загранпаспорта РФ [Электронный ресурс] — URL: <https://migrantvisa.ru/russia/zagranpassport/novogo-pokolenija/> (дата обращения 05.07.2021)
9. Майоров Н. Н. Метод оценки пропускной способности аэровокзального комплекса с помощью имитационного моделирования / Майоров Н. Н., Фетисов В. А. // Журнал «Информационно-управляющие системы» — Санкт-Петербург 2014 г. С 82–86.
10. AIR TRANSPORT INDUSTRY INSIGHT. AirportI Trends Survey 2016 [Электронный ресурс] — URL: <https://sita.aero/resources/type/surveys-reports/airline-it-trends-survey-2015> (дата обращения 05.07.2021)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Евтушенко Антонина Евгеньевна

магистр кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: eae_1101@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Evtushenko Antonina Evgenievna

Student of the department of system analysis and logistics

Saint-Peterburg State University of Aerospace Instrumentation
67, BolshayaMorskaia str.,Saint-Petersburg,190000, Russia

E-mail: eae_1101@mail.ru



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 последействия – все суда приходят в порт независимо друг от друга.

Пусть λ – 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 последействие от различных внешних факторов. В реальности поток судов нестационарен, поэтому при расчётах можно учесть последействие, 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;

λ — 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.

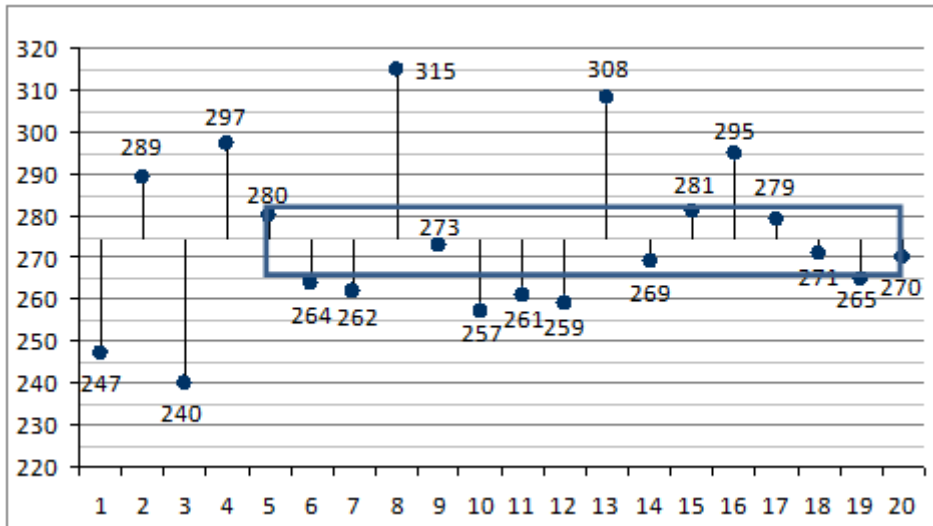


Рис.1. Результаты моделирования потока с гамма-распределением

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

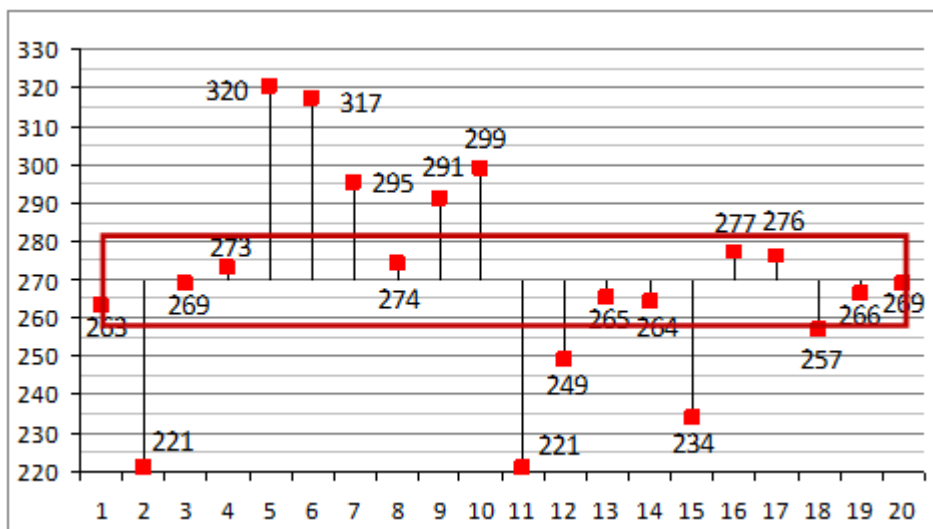


Рис.2. Результаты моделирования потока с Пуассоновским распределением

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.

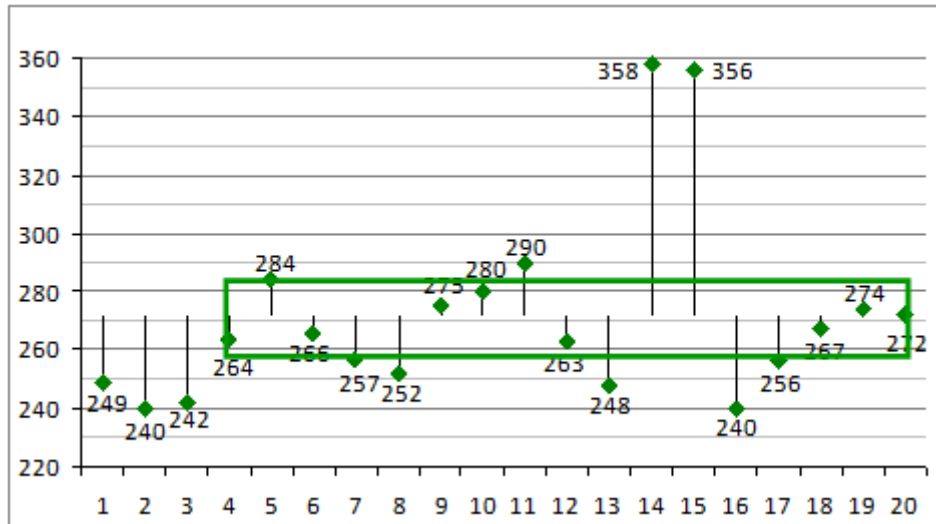


Рис.3. Результаты моделирования потока с нормальным распределением

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.

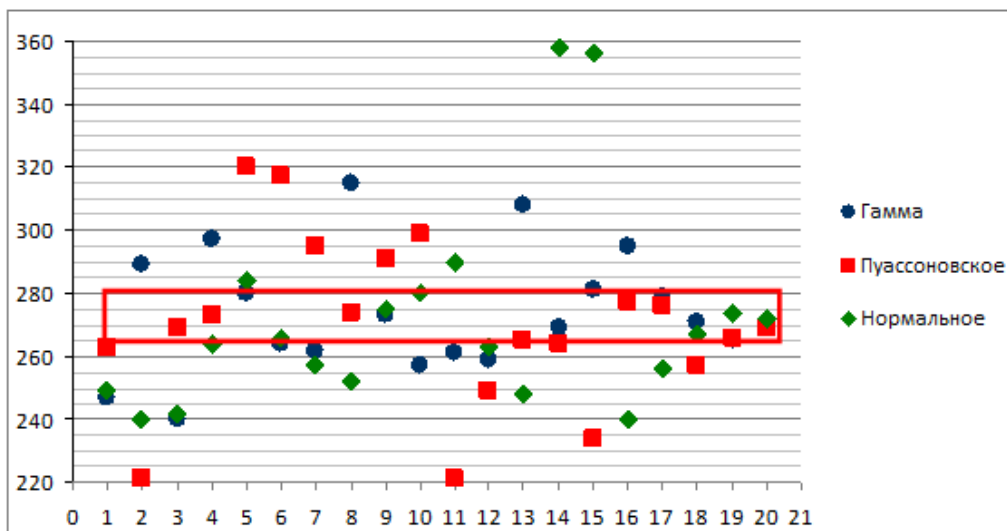


Рис.4. Совмещённые результаты экспериментов

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 (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



ФОРМАЛИЗОВАННАЯ СХЕМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКОЙ СИСТЕМЫ

Я. Я. Эглит¹, К. Я. Эглите², А. Р. Балыбин¹, Е. В. Морозов¹

¹Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

²Санкт-Петербургский институт экономики и управления

В статье представлена разработка формализованной схемы функционирования транспортно-экспедиторской системы. Разработкой является описание моделирующего алгоритма системы, в которой представлены все процессы работ транспортно-экспедиторской компании, на основании описания представлена схема и разработка моделирующего алгоритма.

Ключевые слова: Формализация, судно, система, экспедирование, имитационное моделирование, моделирующий алгоритм.

Для цитирования:

Эглит Я. Я., Эглите К. Я., Балыбин А. Р., Морозов Е. В. Формализованная схема функционирования транспортно-экспедиторской системы // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(29), ISSN 2077-5678. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 29–34. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-29-34.

FORMALIZED SCHEME OF FUNCTIONING OF THE TRANSPORT AND FORWARDING SYSTEM

Y. Y. Eglit¹, K. Y. Eglite², A. R. Balybin¹, E. V. Morozov¹

¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

²Saint-Petersburg Institute of economics and management

The article presents the development of a formalized scheme for the functioning of the freight forwarding system. Development is a description of the simulation algorithm of the system, in which all processes of freight forwarding company, based on the description of the scheme and the development of the modeling algorithm.

Keyword: Formalization, ship, system, forwarding, simulation, modeling algorithm.

For citation:

Eglit Y. Y., Eglite K. Y., Balybin A. R., Morozov E. V. Formalized scheme of functioning of the transport and forwarding system// System analysis and logistics.: №3(29), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p.29–34. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-29-34.

Введение

Разработка отдельной и единичной математической модели вызвана сложной динамической системы для транспортно-экспедиционной компании. Необходимость разработки модели может возникать из-за количественного роста элементов системы и качественного изменения связей между системами, разработка такой модели позволит планировать и анализировать работу всей транспортной компании с учетом множества случайных факторов, которые будут возмущать нормальный процесс функционирования данной системы. При применении такой методики, будет необходимым определить все показатели, которые будут формировать весь оптимизирующий показатель на определенном временном интервале, и получать оптимальные значения для экономического и эксплуатационного показателя работы транспортной компании.

В данной статье разработанная модель будет представлена в виде алгоритма, для которой разработана формализованная схема исследования режимов работы транспортно-экспедиторской компании, построенная с учетом представленных статическим имитационном моделировании класса моделей сложных динамических систем. Модель будет предназначена для дальнейшей реализации на персональном компьютере.

Этапы, которые характерны определенным временным интервалом выделяются при подробном исследовании транспортно-экспедиторской компании. В исследуемой мною



системе первичным элементом является определенный вид груза [1].

Заявки, которые проходят все виды экспедиционного обслуживания, несут в себе информацию о количестве какого-либо вида груза из пункта отправки в конечный пункт. В процессе работы формируется большая часть эксплуатационно-экономических показателей и осуществляется в определенный промежуток времени, показатели характеризуют деятельность транспортно-экспедиторской компании.

Формализованная схема системы

Точное транспортно-экспедиционное обслуживание грузооборота и физико-географическое линейное перемещение груза, являются основными двумя географическими и технологическими составляющими, для реализации в транспортном процессе транспортной услуги. Производственные мощности транспорта включают в себя четыре компонента: средства тяги и терминалы (на которых в основном сосредоточено транспортно-экспедиционное обслуживание), пути сообщения и перевозочные транспортные средства.

На определенном интервале времени работы каждое транспортное средство испытывает на себе ряд факторов: время технического обслуживания, время самого грузового обслуживания и время ожидания грузового обслуживания.

Ожидание поступления груза, который предназначен к погрузке, грузовое обслуживание из-за ограниченной пропускной способности того или иного терминала, а также ожидание подачи контейнера или вагона, являются зависящими факторами времени ожидания грузового обслуживания [1;3].

Терминал — это транспортное предприятие, на территории которого выполняется цикл технологических операций по передаче с одного вида транспорта на другое, заканчивается одна транспортная сеть и начинается другая, а также требования коммерческого и административного характера и комплекс услуг экспедиционного сервиса.

К терминалам примыкают отрасли транспортного сервиса общего пользования: аренда и ремонт контейнеров, ремонт транспортных средств, терминальное хозяйство, бункеровочные базы, буксировка.

Время, в течение которого транспортное средства выводятся их эксплуатации, называется временем технического обслуживания. Среднее время технического обслуживания имеется по каждому типу транспортного средства. Существует также возможность непредвиденного технического обслуживания, которое имеет случайный характер, но в своей совокупности на определенном временном интервале транспортные средства имеют достаточную устойчивость.

Время грузового обслуживания, которое включает в себя время на погрузку и разгрузку, зависит от типа транспортного средства, вида груза и от технического оснащения терминала. В зависимости от вида груза, имеющиеся усредненные показатели по каждому терминалу, по каждому виду транспортного средства достаточно верно отражают затраты на погрузку и выгрузку.

Стоит указать, что на время технического обслуживания, на время технического обслуживания и на нормативное время ожидания грузового обслуживания могут влиять различные возмущающие факторы с их общей длительностью, корректируется как некоторое случайное отклонение, в зависимости от их времени.

Работа в тайм-чартере является особенностью работы специализированного флота, длительность которой определяется на основе соглашений, которые заключены судоходными компаниями с фрахтователями.

Перевозка грузов, погрузка и разгрузка, техническое обслуживание заключаются в транспортной работе транспортного средства, имеющая свою длительность, и которая зависит от направления перевозки, корректирующая некоторой случайной величиной.

Следовательно, на определенном временном интервале работа транспортно-экспедиторской компании состоит в одном из основных режимов в последовательном



пребывании обслуживаемого груза:

- Стивидорные операции, реализующие погрузочно-разгрузочные операции;
- Техническое обслуживание;
- Чисто грузоперевозочные операции;
- Складские операции, реализующиеся торговлей услугами хранения груза.

Таким образом, в предприятиях грузового пристанционного, берегового сервиса и на терминалах выполняется огромный комплекс услуг, производственно-трудовых операций, заказчиками которых могут быть как перевозчики, нуждающиеся в социальном и техническом обслуживании своих транспортных средств, в манипуляциях с грузом, которые оплачиваются за счет фрахта (провозной платы грузовладельца) но и продавцы, покупатели товаров, которые проявили на себя заботу по торговому контракту о доставке груза.

Экспорт и импорт транспортных услуг, предмет предпринимательской деятельности, все это ставит транспортно-экспедиционное обслуживание грузооборота [2;3].

Во времени функционирования системы происходит взаимодействие между элементами системы. Управляющий алгоритм (УА)-специальный разработанный алгоритм, вырабатывающий сигнал управления, под воздействием которого осуществляется переход из одного состояния в другое.

Система экспедиционного обслуживания груза, для удобства описания разделена на четыре взаимодействующие между собой системы:

- Складская (СК);
- Стивидорная (С);
- Тальманская (ТЛ);
- Грузоперевозки (Г).

Укрупненная функциональная схема этой системы представлена на рис 1.

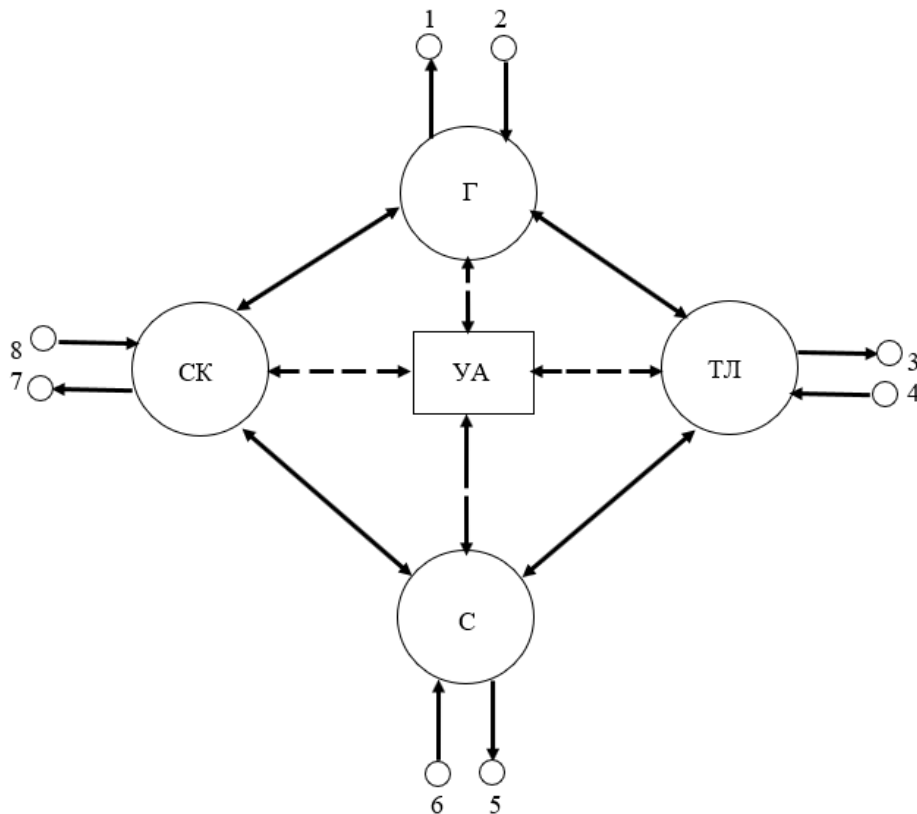


Рис 1. Укрупненная функциональная схема системы



Заявки поступают в систему через полюса 1,3,6,8, и выходят из нее после окончания обслуживания цикла через полюса 2,4,5,7.

Входящее в систему экспедиторского обслуживания множество, состоит из четырех подмножеств. Структурная схема системы представлена на рисунке 2. Эта схема включает в себя и непостоянные элементы.

Все множества характеризуют состояния заявок, которые находятся в n -ом структурном элементе в момент времени t .

Подмножество $X_n^1(t) \in X_n(t)$ характеризует заявки, которые находятся в ожидании грузового обслуживания на момент времени t .

Все элементы данного подмножества включают в себя следующие основные элементы.

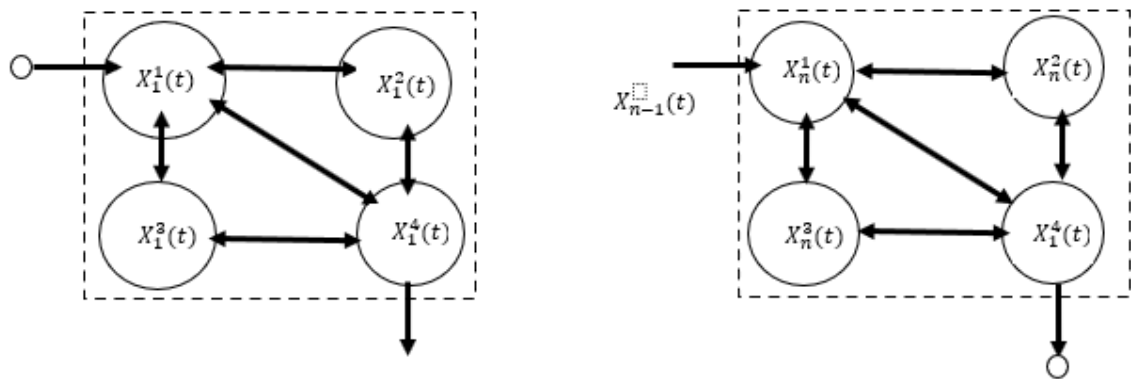


Рис 2. Структурная схема системы

t_{it}^1 - время поступления на обслуживание j -ой заявки в $X_n^1(t)$;

i_{it}^1 - номер заявки типа j -ой;

α_{it}^1 - номер варианта при экспедиционном обслуживании.

Подмножество $X_n^2(t) \in X_n(t)$ - характеризует заявки, которые находятся в момент времени t на погрузке.

Все элементы данного подмножества включают основные элементы:

t_{it}^2 - время поступления на обслуживание j -ой в $X_n^2(t)$;

i_{it}^2 - номер типа j -ой заявки, который в момент времени t , находится в подмножестве $X_n^2(t)$,

α_{it}^2 - номер варианта экспедиционного обслуживания в момент времени t j -ой заявки в подмножестве $X_n^2(t)$.

Подмножество $X_n^3(t) \in X_n(t)$ - характеризует заявки, которые находятся на погрузке в момент времени t .

Все элементы данного подмножества включают основные элементы:

t_{it}^3 - время поступления на обслуживание j -ой заявки в $X_n^3(t)$;

i_{it}^3 - номер типа j -ой заявки, который находится в момент времени t в подмножестве $X_n^3(t)$.

α_{it}^3 - номер варианта экспедиционного обслуживания j -ой заявки в момент времени t в подмножестве $X_n^3(t)$.

Подмножество $X_n^4(t) \in X_n(t)$ - характеризует заявки, которые находятся на погрузке в момент времени t [4;5].

Все элементы данного подмножества включают основные элементы:

t_{it}^4 - время поступления на обслуживание j -ой заявки в $X_n^4(t)$;

i_{it}^4 - номер типа j -ой заявки, в момент времени t , который находится в подмножестве $X_n^4(t)$.

α_{it}^4 - номер варианта экспедиционного обслуживания в момент времени t j -ой заявки в



подмножестве $X_n^4(t)$.

Каждое множество будет характеризовать работу транспортно-экспедиторской компании в момент времени t -ом структурном элементе.

Заключение

Объектами на речном транспорте общего пользования являются региональные и федеральные порты, в которых осуществляют деятельность, связанную с перевозками внутренним водным транспортом, а также внутренние водные пути.

Понятие «свода обычаев порта» на речном транспорте применяются как основы предоставления услуг общего пользования, а не в местном локальном масштабе.

В крупных транспортных узлах и промышленных центрах при поддержке местной администрации и под патронажем организуются локальные системы пристаней, выдача и приема заявок на перевозки, вывоза и завоза грузов с портов, установление порядка расчетов на перевозках и заблаговременное применение ставок тарифов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балыбин А. С., Имитационное моделирование работы контейнерной транспортно-технологической схемы. СПб. «Феникс», 2012, 156 с.
2. Эглит Я. Я. Управление транспортными системами. – СПб: «Феникс», 2014, 168 с.
3. Эглит Я. Я., Ковтун А. А., Пьянкова В. Р., Балыбин А. Р. Влияние внешних факторов на доставку грузов морем // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(25), ISSN 2007-5678. – СПб.: ГУАП., 2020 – с. 52-55. РИНЦ. DOI: 10.31799/2007-5687-2020-3-52-55
4. Эглит Я. Я., Галин А. В. Алгоритм поиска ресурсов для технической эксплуатации судов, СПб «Транспортные суда России» №3 (148), 2020, 24 с.
5. Эглит Я. Я., Ковтун А. А. Формализованная схема транспортных перевозок «Эксплуатация морского транспорта», Новороссийск, №1 (94) 2020, 12 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Эглит Ян Янович –

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Управления транспортными системами ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова

ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

E-mail: eglit34@mail.ru

Эглите Катрина Яновна –

д. э. н., профессор кафедры логистики Санкт-Петербургского института экономики и управления

Частное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский институт экономики и управления»

194044, г. Санкт-Петербург, Крапивный переулок, 5

Балыбин Алексей Романович –

к. т. н., доцент кафедры Управления транспортными системами

ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

Морозов Егор Владимирович –

магистр кафедры “Управление транспортными системами”

ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова

198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

E-mail: e.morozov98@yandex.ru



INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Eglit Yan Yanovich –

DtS, Professor, head of the department TSM Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, Russia, 198035

E-mail: eglit34@mail.ru

Eglite Katrina Yanovna –

DeS., Professor Department of Logistics Institute of Economics and Management

Saint-Petersburg Institute of economics and management

5, Krapivniyside St, Saint-Petersburg, Russia, 194044

Balybin Alexey Romanovich –

candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of UTS

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, Russia, 198035

Morozov Egor Vladimirovich –

Master of the Department " Management of Transport Systems"

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, Russia, 198035

E-mail: e.morozov98@yandex.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МОРСКИХ ПАРОМНЫХ И КРУИЗНЫХ СЕТЕЙ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Н. Н. Майоров, А. А. Добровольская

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Морские круизные перевозки являются визитными карточками многих стран. Ввиду спада в данной круизной отрасли по причине Covid-19, необходима разработка новых моделей и методов принятия решений для достижения докризисного уровня. Одним из таких инструментов является анализ и последующая модернизация маршрутных сетей паромных и круизных линий. В выполненном исследовании приводятся модели, применимые к маршрутным сетям в границах морей. Объектом исследования выбран регион Балтийского моря и имеющиеся маршрутные круизные сети. В статье приводится мировой анализ круизной отрасли, подтверждающий необходимость модернизации и поиска новых решений. Просто выполнение перезапуска маршрутных сетей круизными и паромными компаниями, на базе существующих сетей 2019 года, сегодня недостаточно. Для решения поставленной задачи приводится новая графовая модель маршрутных сетей, приводится модель организации маршрутных сетей с учетом различных подсетей в регионе. Для расширения возможностей морских паромных и круизных линий, предлагается теоретическая модель, позволяющая пассажиру переходить с одного маршрута на другой, тем самым обеспечивая большую гибкость и разнообразность выбора направлений, чем классический маршрут через заданную систему портов. Представленные модели подкреплены примерами развития морских пассажирских портов и терминалов Санкт-Петербурга, морских паромных сетей Балтийского моря. Представлены вопросы дальнейшего исследования. Представленная модель позволяет расширить возможности региона и порта, сделав его более привлекательным для пассажиров.

Ключевые слова: морской пассажирский порт, пассажирские перевозки, паромные маршруты, маршрутная сеть, Балтийское море, изменения маршрутов круизных линий

Для цитирования:

Майоров Н. Н. Исследование изменений морских паромных сетей Балтийского моря под влиянием внешней среды // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(29), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 35–42. РИНЦ, DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-35-42.

RESEARCH OF CHANGES IN THE SEA FERRY AND CRUISE NETWORKS OF THE BALTIC SEA UNDER THE INFLUENCE OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT

N. N. Maiorov, A. A. Dobrovolskaya

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Cruise shipping is the calling card of many countries. In view of the downturn in this cruise industry due to Covid-19, it is necessary to develop new models and decision-making methods to reach pre-crisis levels. One such tool is the analysis and subsequent modernization of the route networks of ferry and cruise lines. The study presents models applicable to the regions of the seas. The object of the research is the Baltic Sea region and the existing route cruise networks. The article provides a global analysis of the cruise industry, confirming the need for modernization and the search for new solutions. Simply restarting the route networks, based on the 2019 networks, is not enough today. To solve the problem, a graph model of route networks is given, a model of route network organization is given, taking into account various subnetworks. To expand the capabilities of sea ferry and cruise lines, a theoretical model is proposed that allows the passenger to switch from one route to another, thus providing more flexibility and variety than the classical route through a given system of ports. The presented models are supported by examples of development of sea passenger ports and terminals of St. Petersburg, sea ferry networks of the Baltic Sea. Further research questions are presented. The presented model allows expanding the possibilities of the region, making them more attractive for passengers.

Key words: sea passenger port, passenger transportation, ferry routes, route network, Baltic Sea, changes in cruise line routes.

For citation:

Maiorov N.N. Research of changes in the sea ferry and cruise networks of the baltic sea under the influence of the external environment // System analysis and logistics. №3(29), ISSN2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p.35–42. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-35-42.



Введение

Современная ситуация в сфере морских пассажирских перевозок, негативное влияние COVID-19 и связанные с ним ограничения, потребовали разработки новых моделей и методов для стратегии достижения докризисного уровня развития. Хорошо известно, что реализация долгосрочных целей устойчивого развития морских пассажирских перевозок, достижение желаемых результатов, преодоление негативного влияния факторов нестабильной внешней среды определяются выбранным курсом, положенным в основу стратегического управления. Под влиянием эпидемии COVID-19 глобальная мобильность круизов остановилась, в то время как локальная мобильность дает возможность ее возобновления в кратчайшие сроки. К таким регионам, к которым можно применить понятие локальной мобильности, следует отнести регион Балтийского моря. Рассмотрим мировую ситуацию в данной отрасли и приведен анализ развития.

Во всем мире индустрия океанских круизов имеет ежегодный совокупный темп роста пассажиропотока в размере 6,63% с 1990 по 2020 год [1], и она стала одной из наиболее динамичных и быстрорастущих отраслей в международном туризме [2]. В последние десятилетия, с быстрым ростом рынка круизов, круизные суда распространились по всему миру, во многих географических районах, от Карибского моря, Средиземного моря, Аляски и Азии. В работах [3,4,5] представлены мировые прогнозные данные по мировому количеству круизных судов и прогнозные данные по емкости рынка. Несмотря на прогнозные данные и высокий потенциал данного рынка, из-за ограничений по причине Covid-19, необходимо постепенное восстановление и возобновление работы маршрутных сетей и направлений. К примеру, применительно к региону Балтийского моря, если рассмотреть, к примеру, расписание судозаходов АО "Пассажирский Порт Санкт-Петербург "Морской фасад" [9] последним круизным судном был лайнер AIDAaura, который был в порту 21 октября 2019 года. На сегодняшний момент расписание круизного судоходства в порту не восстановлено. Согласно источнику [1,2] в табл. 1 представлены данные по пассажиропотоку по Европе.

Таблица 1– Перевозки пассажиров морскими круизными и паромными линия (Европейские страны)

Годы	Данные по странам Европейского союза (шт.)
2017	6996000
2018	7285100
2019	7564900
2020	1935300
2021	3754580

На рис. 1 и рис. 2 представлен график динамики перевезенных пассажиров с учетом спада по причине Covid-19.

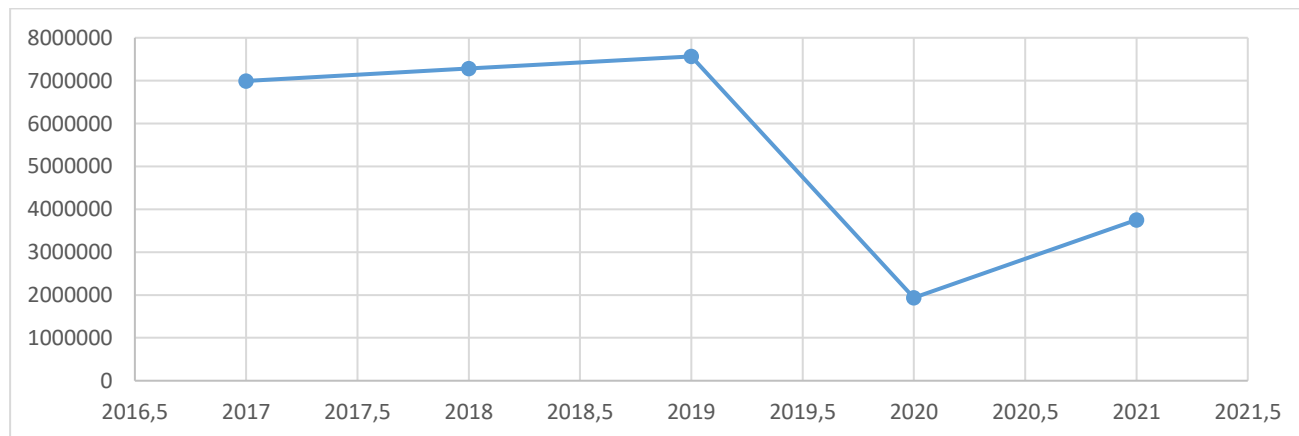


Рис. 1. Количество перевезенных пассажиров круизными и паромными линиями с 2017 по 2021 года (согласно данным источника [2])

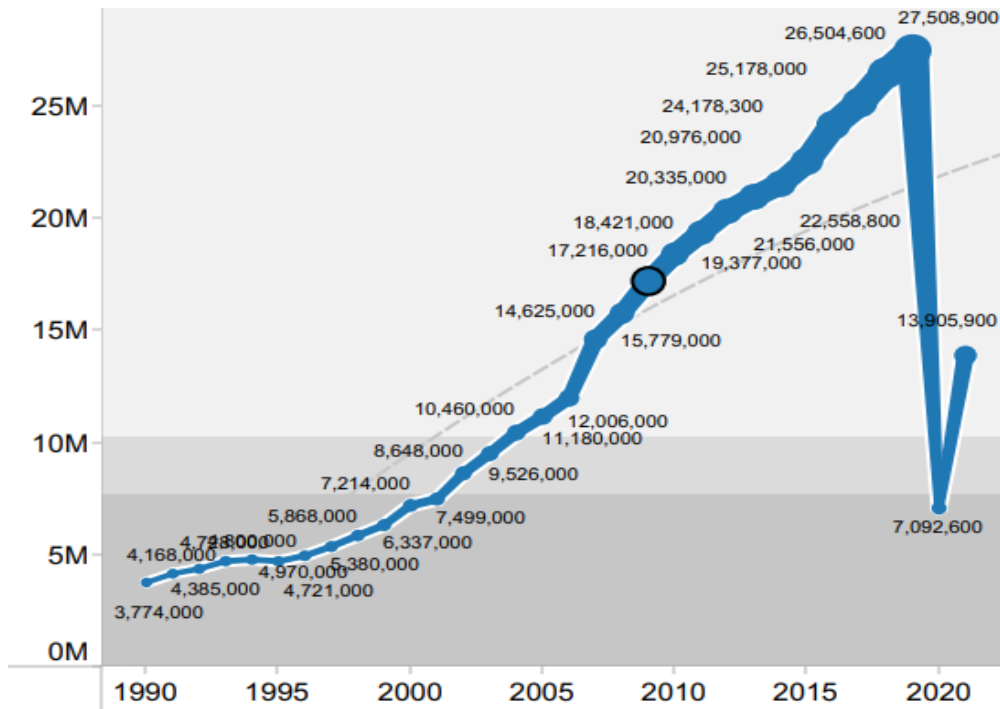


Рис. 2. Мировые перевозки пассажиров морскими и круизными линиями с 1990 по 2021 годы (согласно открытым данным источника [2])

Хорошо видно, согласно рис.1 и рис. 2, что пандемия COVID-19 остановила индустрию пассажирских круизов в среднем на 11 месяцев. С другой стороны данный процесс также ускорил процесс списание многочисленных круизных и паромных судов, поскольку современный флот становится более экологичным и требует внедрения новых автоматизированных и интеллектуальных информационных решений.

С географической точки зрения, круизная индустрия развивается через маршруты (направления), и маршрут является основным элементом круизного маршрута. В данной статье именно маршрут является объектом исследования. Что касается круизных судов, то именно маршрут имеет большое влияние на заполняемость круизных судов. Сегодня круизным компаниям остро необходимо вводить инновации в свои маршруты в различных районах для привлечения туристов, которые обычно выбирают мировые хорошо известные. Кроме того, данное положение в значительной степени определяет прибыльность круизной компании. Разработка круизных маршрутов является вопросом, имеющим важное стратегическое и оперативное значение для круизных компаний, поскольку он является важнейшим фактором, влияющим на выбор круиза клиентами. В статье [6] представлены модель выбора круизного или паромного маршрута на основе логистической функции. Разнообразие круизных маршрутов позволяет круизным компаниям ориентироваться и привлекать различные сегменты рынка и достичь высокой прибыльности за счет разделения операций, но продолжительность путешествия должна соответствовать временной доступности и моделям спроса у потенциальных пассажиров.

На основании представленного анализа ситуации развития круизной индустрии необходимо отметить, что при восстановлении ситуации, именно стратегический выбор нового маршрута или формирование новой маршрутной сети, будет способствовать ускорению восстановления отрасли.

Модели и методы организации сети морских паромных и круизных перевозок

В представленном исследовании объектом исследования является регион и имеющиеся



маршрутные круизные сети Балтийского моря. Морские паромные круизы и перевозки являются быстроизменяющейся системой, что позволяет достаточно гибко вносить изменения в маршрутные сети и тем самым менять позицию и положение круизной или паромной компании в регионе. Основные маршруты и основные морские пассажирские порты приведены на рис. 3.

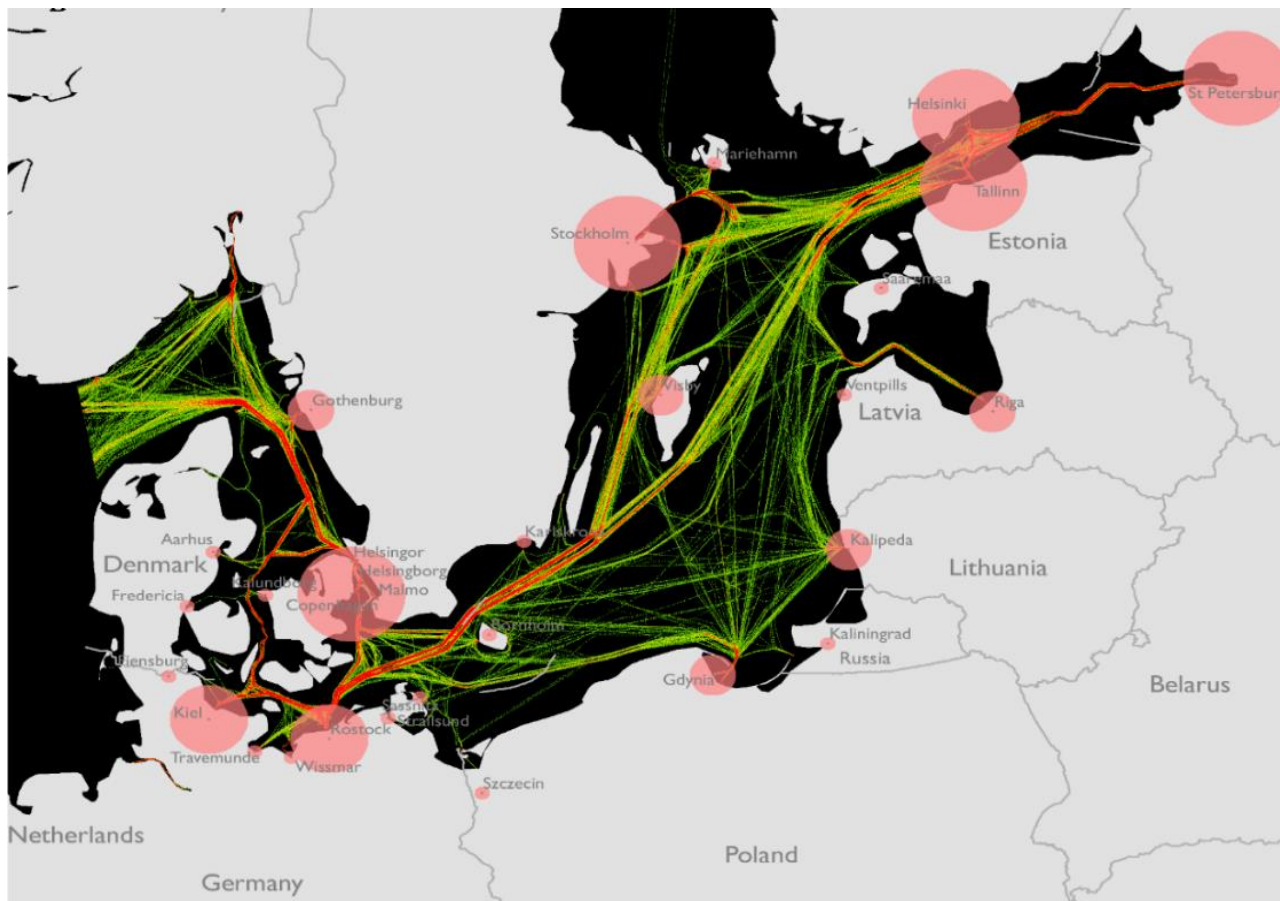


Рис.3. Система морских пассажирских портов и маршрутов в регионе Балтийского моря

Прежде всего необходимо отметить на различное толкование понятия “круизная линия”. Круиз можно осуществить на круизном лайнере или выполнить круиз на пароме. Исторически круиз означает морское путешествие. В настоящее время понимание значительно расширилось. К примеру, в борьбе за клиентов, сейчас на рынке присутствуют речные круизы, круизы на поездах. Для круизов широко используют паромы регулярного сообщения, перевозя не только пассажиров, но и грузы [7,8]. Организационная структура морского круиза представляет собой передвижение судна по некоторому заданному круговому маршруту с организацией радиальных поездок из портов во внутренние районы определенной страны. По длительности круизные маршруты подразделяются на:

- Краткосрочные (от нескольких часов до нескольких суток);
- Среднесрочные (от трех до 13 суток);
- Долгосрочные (до двух месяцев).

В соответствии с данной классификацией наблюдается пропорциональное увеличение количества портов, которые входят в состав круиза. С позиций оперативного восстановления направлений, в первую очередь необходимо адаптировать к новым условиям краткосрочные и среднесрочные маршруты. Представим маршрутную сеть на основе теории графов. Применительно к круизному маршруту принимаем, что порт начала круиза отличается от



порта захода. Он должен обладать следующими двумя характеристиками:

- как порт отправления круизного маршрута, он занимается сбором круизного туристического потока;
- как порт высадки круизного маршрута, он занимается распределением круизного туристического потока.

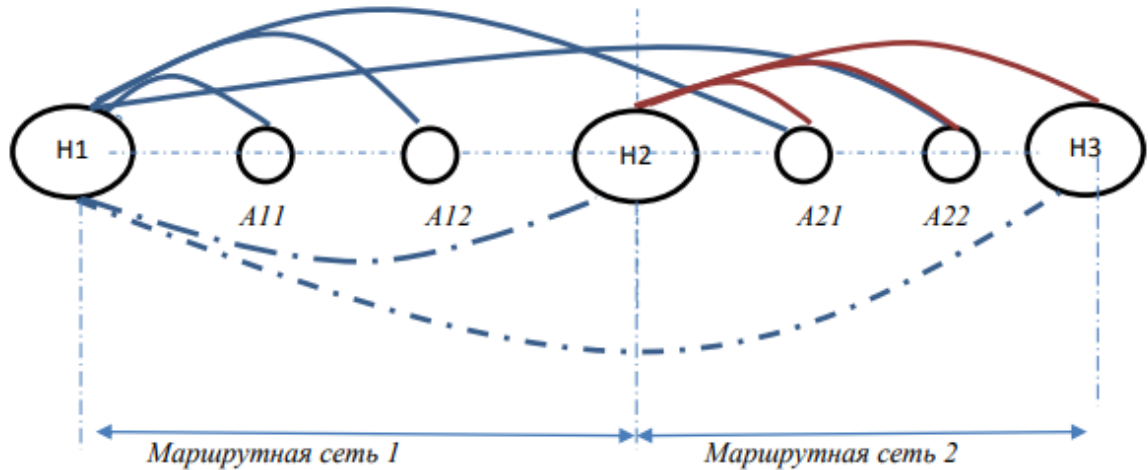


Рис.4. Варианты организации маршрутной сети в регионе моря

На рис. 4 представлены $A11 \dots A22 \dots A_{nn}$ – морские пассажирские порты; $H1, H2, H3$ – основные морские пассажирские порты, между которыми уже существует некоторая маршрутная сеть.

На основании схемы, приведенной на рис. 4 можно определять различные варианты организации новых маршрутных сетей, рассматривать задачи включения новых портов для увеличения пассажиропотока. Пассажирский терминал является точкой концентрации пассажирских потоков и сопутствующего грузопотока, и он должен обладать разветвленной наземной сетью для пассажиропотоков, согласно моделям, представленным в статьях [10,11,12,13]. Не каждый порт может обеспечить выполнение данного требования. Возможности по приему типов судов базово заложены в инфраструктуре. Для исследования задачи маршрутизации паромных и круизных линий в Балтийском море использовались следующие исходные данные, представленные в табл. 2. При формировании выборки использовались только направления включающие терминалы и порты Санкт-Петербурга. На основе проведенного анализа с 2017 по 2020 годы установлено, что на долю пяти основных направлений (Санкт-Петербург, Копенгаген, Таллинн, Хельсинки, Стокгольм) приходится в среднем 67% трафика круизных судов в исчислении заходов в порт.

Таблица 2 – Исходные данные по маршрутам круизных и паромных линий в Балтийском море

Название компании перевозчика	Основные маршрутные линии	Название компании перевозчика	Основные маршрутные линии
St. Peter Line	St. Petersburg-Helsinki (ro-pax); St. Petersburg-Stockholm (ro-pax); St. Petersburg-Tallin (ro-pax);	Tallink/Silja	Stockholm-Turku (ro-ro) Paldiski-Kapellskär (ro-ro) Stockholm-Helsinki (ro-pax) Stockholm-Tallinn (ro-pax) Stockholm-Turku (ro-pax) Stockholm-Riga (ro-pax) Helsinki-Tallinn (ro-pax)
KESS	Baltic Sea Express (car-carrier); Södertälje-Cuxhaven (car-carrier);	Transfennica	Baltic Network (ro-ro) HaminaKotka-Lübeck (ro-ro) Finland-Tilbury (ro-ro)



	Baltic Sea Express II (car-carrier)		Finland-Antwerp 1 (ro-ro) Finland-Antwerp 2 (ro-ro)
--	-------------------------------------	--	--

В статье [10] представлены базовые 4 модели организации маршрутных сетей применительно к региону моря. Наибольший интерес согласно проблеме исследования вызывает такой варианты организаций маршрутных сетей, при котором между некоторыми пассажирскими портами создаются отдельные транспортные подсети, на которые организационно выделяются отдельные паромы или формируется единая маршрутная сеть с закреплением судов за определёнными выделенными маршрутами (рис. 5)

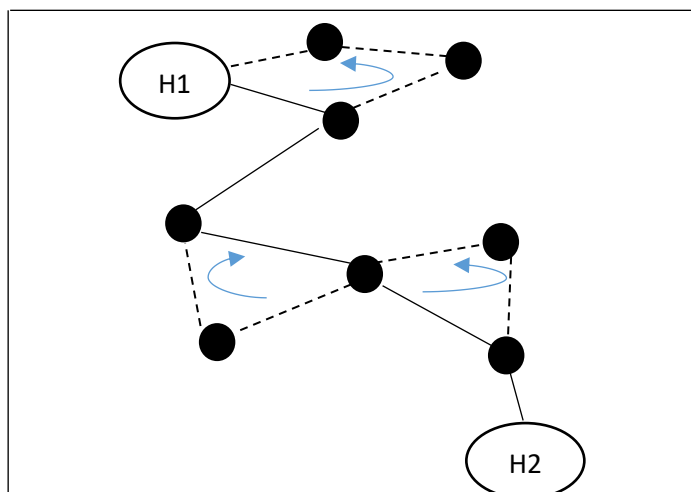


Рис. 4. Построение отдельных маршрутных подсетей между морскими пассажирскими портами в регионе моря

Построение сети морских паромных или круизных пассажирских перевозок с учетом возможности мобильности выбора маршрута

Морские пассажирские паромные сети должны обладать гибкостью, возможностью внесения изменений в маршрутные сети, для обеспечения прибыльности, под влиянием внешней среды. Система портов и терминалов образует подсети, среди которых можно формировать различные варианты маршрутов. Предлагается рассмотреть возможность, для обеспечения большей гибкости, такую, что пассажиры могут выбирать одинаковые или разные порты посадки и высадки на круиз, чем в первоначальном маршруте, когда только посадка и высадка производится в одном и то же порту. Более того, ряду портов можно включить возможность пересадки пассажира с одного маршрута на другой. На основе данного подхода и при анализе табл. 2, рис. 4,5 предлагается следующая модель (рис. 6)

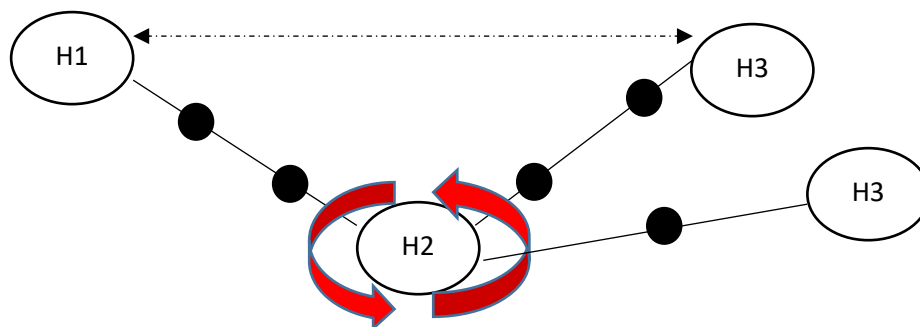


Рис. 6. Вариант организации морских паромных линий с учетом стыковки нескольких маршрутов



На основании представленной модели (рис. 6) и с учетом постепенного снятия ограничений, по причине Covid-19, таким образом отрывается возможность обеспечить большую гибкость при выборе маршрута, большую мобильность пассажира круиза, открыть возможность выбора различных маршрутов и возможность перехода пассажира между маршрутами. Данный шаг требует значительной согласованной работы различных паромных компаний и портов, дополнительных соглашений, что вызывает организационные трудности.

Представленная модель носит теоретический характер, так как требует последующего создания механизма согласования расписаний движения паромных компаний, решения задачи оценки прибыльности отдельных направлений. Данный вопрос является предметом отдельного последующего исследования.

Заключение

Актуальной задачей является изучение вопроса эволюции маршрутов под влиянием внешней среды или негативного внешнего воздействия. На основании анализа круизных и паромных маршрутов, и пассажирских перевозок в Балтийском море обоснована потребность в построении моделей и форм организации, выявляющих изменения в маршрутной паромной сети под влиянием внешней среды и изменения роли пассажирских терминалов в регионе. Обоснована необходимость изменения в связи с динамичными процессами изменения пассажиропотоков. В работе предложены различные варианты организации маршрутных сетей, рассмотрены условия формирования отдельных подсетей. Сформулировано и выполнено графическое представление различных форм организации маршрутной сети. На основе предложенных моделей маршрутных сетей, предложен вариант организации стыковочного паромного маршрута, и представления системы пассажирских портов и терминалов в виде круговой модели, обеспечивающей большую мобильность пассажира при выборе криза. Представленная модель позволяет решить задачу перехода туриста с одного маршрута на другой. Представленные модели организации маршрутных сетей позволят решить задачу планирования организации и выбора наилучшего маршрута для оперативного достижения докризисного уровня пассажиропотока (уровень 2019/2020 годов). Представленное решение рассматривается как один из путей привлечения дополнительных пассажиров в систему морских круизных перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cruise Market Watch. Growth of the Ocean Cruise Line Industry. 2020. — Режим доступа: <https://cruisemarketwatch.com/growth/> ((дата обращения: 05.09.2021).
2. *Stojanović, M., Jugović, T. P., Jugović, A.* Indicators of passenger flows movements on the world and Mediterranean cruise market. *Scientific Journal of Maritime Research*. 2014. Vol. 28. pp. 40-48.
3. *Brida J-G et al.* Cruise Passengers in a Homeport: A Market Analysis. *Tourism Geographies: An International Journal of Tourism Space, Place and Environment*. 2013. Vol 15. pp. 68-87. DOI: 10.1080/14616688.2012.675510
4. *Goran, C', Ivan, P., Dejan, T.* Cruise port passenger flow analysis: A cruise port governance perspective. *NAŠE MORE*. 2020, Vol. 67, pp. 181–191. DOI 10.17818/NM/2020/3.1
5. *Yan, S., Chen, H.C., Chen, Y.H. Lou, T.C.* Optimal scheduling model for ferry companies under alliances. *J. Mar. Sci. Technol.* 2007. Vol. 15. pp. 53–66
6. *Майоров Н. Н.* Применение логистической функции для оценки воздействия внешней среды на морские паромные, круизные линии и морские пассажирские терминалы / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. - 2020. - №4(62). - С. 627-639. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-627-639
7. *Шпилько С.П.* Морские круизы: теория и практика / С.П. Шпилько, Н.В. Андропова,



- Р.В. Чударев // — М.:Советский спорт, 2012. - 147 с.
8. *Майоров Н. Н.* Исследование изменений и управление развитием морского пассажирского порта / Н.Н. Майоров // Системный анализ и логистика. – 2021. - №1(27). – с. 20-30. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-1-20-30.
 9. Расписание АО "Пассажирский Порт Санкт-Петербург "Морской фасад". — Режим доступа: <https://www.portspb.ru/Raspisanie> (дата обращения: 05.09.2021).
 10. *Майоров, Н.Н.* Методологический базис организации сети морских пассажирских перевозок / Н.Н. Майоров // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 2. – С. 28–37.
 11. *Jugović A.* Organization of Maritime Passenger Ports / A. Jugović, V. Mezak, G. Nikolić // Pomorskizbornik. 2006. Vol. 44. Is. 1. pp. 93–104.
 12. *Maivorov, N.N.* Forecasting of the route network of ferry and cruise lines based on simulation and intelligent transport systems/ N.N. Maivorov, V.A. Fetisov, S. Krile, D. Miskovic // Transport Problems. – 2019. – Vol.14 (Issue 2). – pp. 111-123. DOI: 10.20858/tp.2019.14.2.10
 13. *Patric S., Marcus N.* Alternative solutions for terminal traffic. Göteborg, Sweden, 2006. 83 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Майоров Николай Николаевич –

доцент, доктор технических наук, доцент

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: nnm@guap.ru

Добровольская Ангелина Александровна -

Ассистент

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: angd999@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maivorov, Nikolai N. —

PhD, associate professor, Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: nnm@guap.ru

Dobrovolskaia, Angelina A. —

Assistant of the Department of System Analysis SUAI

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: angd999@gmail.com



АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ДРОНОВ

А. С. Костин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В данной статье рассмотрена возможность применения дронов для идентификации и анализа загруженности транспортно-пересадочных узлов в городской среде. В статье обоснована необходимость анализа загруженности транспортно-пересадочных узлов, ввиду неравномерности загруженности транспорта. Классические модели оценки загруженности не позволяют учитывать динамику процесса. Полученные ручными расчетами данные содержат ошибки и требуют длительной обработки. Использование данных от камер позволяет решить проблему анализа загруженности, но в часы пик данную задачу решить с высокой точностью не получается. Для решения анализа загруженности предлагается использование данных, полученных от дронов (от беспилотной авиационной системы). Для реализации данного решения в статье был представлен список необходимых комплектующих, которые должны быть на дроне, приведен пример исходного кода для реализации автономного полета, приведен пример реализации схемы облета транспортно-пересадочных узлов при помощи специального программного обеспечения.

Ключевые слова: дрон, машинное зрение, транспортно-пересадочные узлы, автономный полет, транспортная система

Для цитирования:

Костин А. С. Анализ загруженности транспортных пересадочных узлов при помощи дронов // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(29), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП. - 2021 – с. 43–49. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-43-49.

ANALYSIS OF TRAFFIC CONGESTION AT TRANSPORT TRANSFER HUBS USING DRONES

A. S. Kostin

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

This article considers the possibility of using drones to identify and analyze the congestion of traffic-transfer hubs in the urban environment. The article substantiates the need to analyze the congestion of traffic-transfer hubs, due to the unevenness of traffic congestion. Classical models of congestion estimation do not allow taking into account the dynamics of the process. The data obtained by manual calculations contain errors and require lengthy processing. Using the data from cameras allows solving the problem of congestion analysis, but it is not possible to solve this problem with high accuracy during peak hours. The use of data obtained from drones (from an unmanned aerial system) is proposed to solve the congestion analysis problem. To implement this solution, the article presented a list of necessary components that a drone should have, an example of the source code for the implementation of an autonomous flight, an example of the implementation of the traffic-transfer hubs overflight scheme using special software.

Keywords: drone, machine vision, transport hubs, autonomous flight.

For citation:

Kostin A. S. Analysis of traffic congestion at transport transfer hubs using drones // System analysis and logistics.: №3(29), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p.43–49. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-3-43-49.

Сегодня транспортные системы городов находятся в непрерывном развитии и модернизации. Увеличение численности транспортных средств, численности населения городов, рост инфраструктуры городов, внедрение новых высокоскоростных беспроводных сетей, вынуждает и создает условия для внедрения качественно новых решений. Особый интерес сегодня вызывают решения на основе новых беспилотных технологий.

Пассажи́рские перевозки представляют собой одну из основных отраслей экономики каждого города. Одной из главных проблем предприятий пассажирского транспорта является недополучение доходов, что в итоге сказывается как на качестве самих перевозок и выбору транспортных средств, работающих на маршруте, так и на обслуживании пассажиров.



Наверное, перед всеми предприятиями стоит вопрос повышения эффективности работы и экономии ресурсов, поэтому учет количества пассажиров [1] становится одной из важнейших задач.

На данный момент большинство перевозчиков не имеют достоверной информации о количестве перевозимых пассажиров по часам суток на автотранспорте. Это вызывает определенные трудности в планировании графика движения, т. к. неизвестно, сколько необходимо задействовать автобусов на маршруте для перевозки [2]. На практике можно применить краткосрочное прогнозирование пассажиропотока, которое позволит вычислить с некоторой вероятностью загруженность маршрута на ближайшее время и за счет прогноза позволит корректировать количество автобусов на линии. Особую сложность представляют остановки нескольких номеров автобуса, так как пассажиропоток между ними распределен неравномерно [2]. Конечно, ручные методы подсчета пассажиров сегодня уже неэффективны. Дополнительно необходимо исследование эффективности размещения остановок на маршруте. Рассмотрим определенные детерминанты людей на городских остановках (табл. 1).
Таблица 1-Основные детерминанты пассажиропотока на остановках городского транспорта

№	Название основного критерия
1	Сезонные, погодные условия
2	Денежные доходы населения
3	Особенности занятости пассажиров: род занятий и временные интервалы пребывания, целевые установки
4	Распределение пассажиров по возрастному составу
5	Уровень безработицы
6	Уровень культуры населения
7	Предпочтение определенным видам транспорта

Для определения количества пассажиров, перевозимых единицей городского транспорта, существуют следующие способы:

1. Ручной метод подсчёта пассажиров как на остановках, так и в автобусе;
2. Контактно-турникетный способ предполагает вести подсчет перевозимых пассажиров при помощи установки в салоне автобуса специальных турникетов;
3. Способ подсчета пассажиров с помощью определенных датчиков. Сегодня на рынке присутствует различные аппаратные решения [3];
4. Способ подсчета пассажиров с помощью инфракрасных датчиков (активного и пассивного типа);
5. Способ подсчета пассажиров с использованием датчиков, позволяющих получать 3D изображение пространства;
6. Способ подсчета пассажиров с помощью видеокамер в салоне автобуса. Данное решение можно применить и для подсчета пассажиров на остановках.

Каждый из рассмотренных методов имеет возможность работы как в режиме реального времени, так и в режиме «черного ящика», сохраняя информацию на носитель. При этом имеются конструктивные особенности размещения системы датчиков, что обуславливает сложности внедрения.

Для решения задачи подсчета пассажиров предлагается использование решений на базе беспилотных авиационных систем [4]. Решение состоит в использовании дронов и последующем анализе результатов видеозаписей с остановок. Решение использование



дронов позволяет следить за большими скоплениями людей в том числе и на остановках. В результате интеграции мобильных приложений, беспроводных сетей и программных систем дроны могут оказывать помощь при подсчете пассажиров на остановках и мониторинге ситуаций [2]. Решения на основе беспилотных авиационных систем благодаря мобильности позволят собрать данные в режиме реального времени, собрать данные по интенсивностям изменения количества людей на остановках.

Сам же метод идентификации подвижных объектов при помощи БПЛА заключается в том, что БАС получает информацию о маршруте и остановках, которые нужно исследовать и выполняет полетное задание.

В некоторых реализациях БПЛА будет связываться с другими БПЛА, которые находятся относительно недалеко друг от друга для получения информации, используемой для планирования маршрута. Эта информация может храниться на сервере автономной базовой станции и/или динамически распределяться между ближайшими БПЛА [5].

Когда БПЛА достигает заданной точки исследования, он исследует место при помощи машинного зрения, производит подсчет объектов, затем перемещается к следующей точке, тем самым продолжая выполнение полетного задания. После завершения полетной миссии БПЛА может вернуться в базовый пункт или в другое место для получения другого задания, зарядки батарей и т. д.

Далее более конкретно рассмотрим некоторые основные элементы системы идентификации подвижных объектов, такие как: интерфейс задания полетной миссии (Рис. 1).

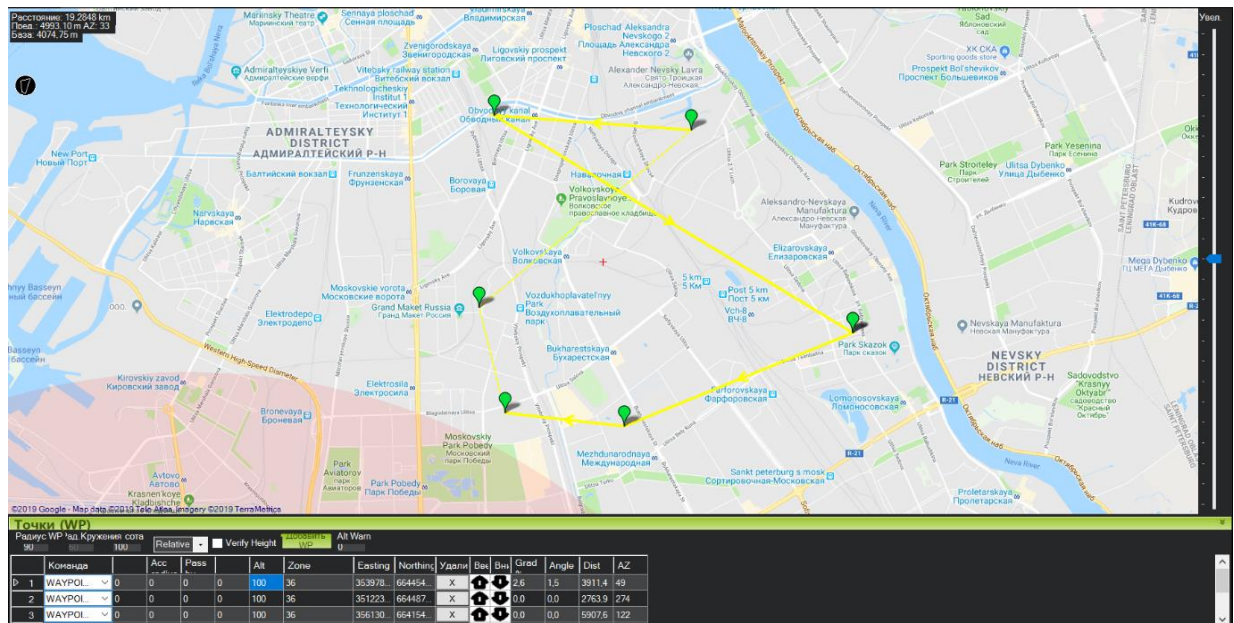


Рис. 1. Концепт графического интерфейса [5]

На рисунке 1 изображен пример графического интерфейса оператора БАС. В качестве программы для формирования полетного задания используется Mission Planner. Mission Planner представляет собой наземный пункт управления с открытым исходным кодом. Данное ПО можно использовать в качестве утилиты настройки конфигурации, или в качестве дополнительного средства динамического контроля для автономного летательного аппарата. Ниже перечислены лишь некоторые возможности программы Mission Planner:

- Загрузка аппаратно-программного обеспечения (программного обеспечения) в плату автопилота (серия Pixhawk), который управляет вашим летательным аппаратом [6,7].
- Начальная установка, выбор конфигурации, и точная настройка вашего летательного аппарата для получения оптимальных рабочих характеристик [6].



- Планирование, сохранение и загрузка отдельных полетов в ваш автопилот с обычным вводом путевых точек методом «point-and-click» (указал и щелкнул) на картах Google или на других картах [6].
- Загрузка и анализ журналов полетов, создаваемых вашим автопилотом.
- Взаимодействие с пилотажным имитатором на ПК для создания полномасштабного аппаратно-программного имитатора БПЛА.
- Располагая соответствующим аппаратным обеспечением телеметрии, вы можете:
 - Отслеживать состояние своего летательного аппарата в процессе эксплуатации.
 - Вести журналы телеметрических измерений, содержащие гораздо больше информации, чем журналы данных встроенного автопилота [6].
 - Просматривать и анализировать журналы телеметрических измерений.

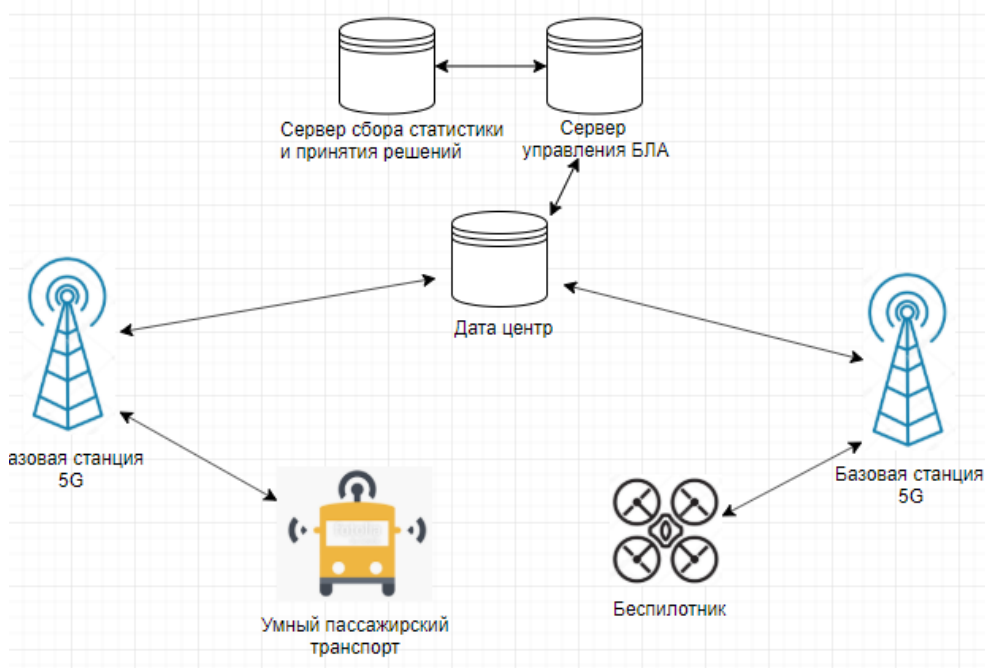


Рис. 2. Структура ячеистой сети обмена данными между БПЛА и объектами инфраструктуры

На рисунке 2 изображена блок-схема информационно-управляющей среды БПЛА, которая включает в себя БПЛА, сервер сбора статистики и принятия решений, сервер управления БПЛА и дата центр. Дата центры образуют вычислительную сеть, состоящую из серверов, которые доступны через ячеистую беспроводную сеть. Как показано на рисунке 21, дата центры могут включать в себя один или несколько объединенных серверов. Эти серверы могут быть расположены, например, как серверные стеки, которые используются в центрах обработки данных. Кроме того, серверы включают в себя систему управления БПЛА [5,6].

Беспроводная ячеистая сеть может использоваться для обеспечения связи между беспилотными летательными аппаратами (например, для обмена информацией о погоде, информацией о местоположении, зонах посадки), системой управления беспилотными летательными аппаратами и т. д. [5].

В некоторых случаях, если БПЛА теряет связь с другими БПЛА через беспроводную ячеистую сеть, он может активировать альтернативный метод беспроводной связи для восстановления соединения. Например, если БПЛА не может связываться с любыми другими БПЛА через ячеистую сеть, он может активировать канал сотовой и/или спутниковой связи для получения необходимой информации из системы управления БПЛА. Если альтернативный метод связи не активировался, то дрон может автоматически и автономно



перемещаться в указанное место (например, в ближайшую автономную базовую станцию) [5,7].

При решении данной задачи принимается использование дронов. Для аппаратной части предлагаемого решения необходимо использование следующих элементов, приведенных в табл. 2

Таблица 2 - Необходимые комплектующие для работы дрона в режиме поиска и распознавания объектов

№	Комплектующие	№	Комплектующие
1	Raspberry Pi 4	4	Плата питания 5В 3А
2	RaspberryPiCamera v2	5	Аккумулятор
3	SD-card	6	Полетный контроллер (PixHawk 2.4.8)
4	Дрон, квадрокоптер	7	GPS-Антенна

Данное аппаратное обеспечение устанавливается на беспилотник, который дистанционно управляется оператором. На рисунке 3 приведен фрагмент исходного кода на языке Python, при помощи которого осуществляется автономная навигация дрона и распознавание объектов при помощи машинного зрения.

```
import rospy
from clover import srv
from std_srvs.srv import Trigger
from mavros_msgs.srv import CommandBool
import math
import pigpio

rospy.init_node('flight')

get_telemetry = rospy.ServiceProxy('get_telemetry', srv.GetTelemetry)
navigate = rospy.ServiceProxy('navigate', srv.Navigate)
land = rospy.ServiceProxy('land', Trigger)
arming = rospy.ServiceProxy('mavros/cmd/arming', CommandBool)

def navigate_wait(x=0, y=0, z=0, yaw=float('nan'), speed=0.5, frame_id='', auto_arm=False, tolerance=0.20):
    navigate(x=x, y=y, z=z, yaw=yaw, speed=speed, frame_id=frame_id, auto_arm=auto_arm)

    while not rospy.is_shutdown():
        telem = get_telemetry(frame_id='navigate_target')
        #print(telem.z)
        if math.sqrt(telem.x ** 2 + telem.y ** 2 + telem.z ** 2) < tolerance:
            break
        rospy.sleep(0.2)

def landing(frame_id):
    rospy.sleep(7)
    navigate_wait(x = 0, y = -0.05, z = 0.55, yaw = math.radians(90), speed = 0.15, frame_id=frame_id, tolerance=0.1)
    print('landing')
    land()
    rospy.sleep(0.5)
    arming(False)

print("[INFO] loading model...")
net = cv2.dnn.readNetFromCaffe(args["prototxt"], args["model"])
CONSIDER = set(["person", "bus"])
objCount = {obj: 0 for obj in CONSIDER}
frameDict = {}
lastActive = {}
lastActiveCheck = datetime.now()
ESTIMATED_NUM_PIS = 4
ACTIVE_CHECK_PERIOD = 10
ACTIVE_CHECK_SECONDS = ESTIMATED_NUM_PIS * ACTIVE_CHECK_PERIOD
```

Рис. 3. Фрагмент исходного кода

В итоге данное аппаратное и программное обеспечение устанавливается на беспилотник, который дистанционно управляется оператором. Дрон собирает информацию о людях на остановках, происходит подсчет, и передает данные на центр управления или сервер мониторинга обстановки. Для анализа изображения необходимо на языке Python сделать обработку и описать распознавание на основе нейронной сети [4].

Подобранные комплектующие позволяют использовать RaspberryPi для того, чтобы запрограммировать автономный полет БАС. Чаще всего программа для автономного полета



пишется на языке Python. Программа может получать телеметрию (заряд батареи, ориентацию, расположение и т. д.) и отправлять команды: полететь в точку, установить ориентацию, угловую скорость и т. д. На рисунке 4 приведен результат работы исходного кода с применением описанной выше аппаратной платформы дрона.



Рис. 4 – Пример реализации идентификации объектов при помощи машинного зрения

При интеграции беспилотной авиационной системы в существующую систему управления городского пассажирского транспорта, появится возможность получить информацию о загрузженности городских остановок общественного транспорта, а также эффективно перераспределять городской транспорт по перегруженным маршрутам в реальном времени. Однако на текущий момент существуют определенные сложности интеграции дронов в подобную сеть. В первую очередь это связано с безопасностью применения летающих дронов в городской среде, требуется большая работа, связанная с адаптацией методов навигации, увеличение времени полета, а также внесение изменения в методы регулирования полетов внутри города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник / Л. Л. Афанасьев, А. И. Воркут, А. Б. Дьяков — М.: Транспорт, 1986. — 220 с.
2. Костин А. С., Майоров Н. Н. Анализ пассажиропотока остановок городского транспорта на основе использования беспилотных авиационных систем // Организация и безопасность дорожного движения. Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием. 2020. С. 367–372.
3. Королева Н. В., Левченко А. С. Состояние и перспективы развития рынка беспилотных авиационных систем гражданского назначения // Актуальные научные исследования в современном мире. 2016. № 11–2 (19). С. 77–79.
4. Основные концепции нейронных сетей / Каллан Р.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2001. – 291с.
5. Костин А. С., Еленин Д. В. Методы доставки грузов при помощи беспилотных летательных аппаратов. // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №1(23). – СПб.: ГУАП., 2019 – с. 55–64
6. Missionplanner [Электронный ресурс] // Геофизическая аппаратура, программное обеспечение и оборудование для геологоразведочной отрасли - Режим доступа: <http://www.agtsys.ru/catalog/product/view/271/88> (дата обращения: 07.09.2021).
7. Майоров Н. Н. Основы автономного управления беспилотными авиационными системами для решения транспортных задач: учебно-методическое пособие / Д. В. Еленин, А. С. Костин, Н. Н. Майоров - Санкт-Петербург: ГУАП, 2020. - 71 с.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Костин Антон Сергеевич —

ассистент кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: anton13258@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kostin Anton Sergeevich —

Assistant of the Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, BolshayaMorskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: anton13258@mail.ru