



УДК 62-50

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-3-8

## НЕЛИНЕЙНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ КРЕНОМ ПРИ ВЫВОДЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ЗАДАННУЮ ЛИНИЮ ПУТИ

**В. Г. Буласова, В. К. Пономарев**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Рассматривается задача вывода воздушного судна на заданную линию пути. Анализируется возможность использования для этой цели нелинейного алгоритма управления креном с функциями ограничения. Приводятся результаты моделирования процесса наведения, показывающие, что исследуемый нелинейный алгоритм обеспечивает вывод воздушного судна из любой точки пространства на линию заданного пути при любом начальном курсе в спокойной атмосфере и при наличии ветра.*

*Ключевые слова: линия заданного пути, управление креном, алгоритм траекторного управления, управления движением центра масс, боковое отклонение.*

### **Для цитирования:**

*Буласова В. Г., Пономарев В. К. Нелинейный алгоритм управления креном при выводе воздушного судна на линию заданного пути // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 3-8. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-3-8.*

## NONLINEAR ROLL CONTROL ALGORITHM FOR THE DERIVATION OF AN AIRCRAFT LEAVING ON A PRESCRIBED WAY LINE

**V. G. Bulasova, V. K. Ponomarev**

State University of Aerospace Instrumentation

*The conclusion of the aircraft to a given track line is considered. The possibility of using for this purpose a nonlinear roll control algorithm with functions of functions is analyzed. The results of modeling of the guidance process are given, showing that the investigated nonlinear algorithm ensures the withdrawal of an aircraft from any points in space on a given path for any initial course in a calm atmosphere and in the presence of wind.*

*Key words: line of a given path, roll control, trajectory control algorithm, motion control of the center of mass, lateral deviation.*

### **For citation:**

*Bulasova V. G., Ponomarev V. K. Nonlinear roll control algorithm for the derivation of an aircraft leaving on a prescribed way line // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 9-14. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-3-8.*

### **Введение**

На современном этапе развития принципов организации воздушного движения осуществляется последовательное внедрение технологий зональной навигации, которая предполагает унификацию навигационных элементов полета [1]. К их числу относится и маневр воздушного судна (ВС), обеспечивающий вывод его из любой точки пространства на линию заданного пути (ЛЗП). Такая задача решается при взлете, на этапе оперативного изменения маршрута полета и при заходе на посадку без выполнения предпосадочного маневра.

### **Основная часть**

Задачу выхода ВС на ЛЗП можно решить с помощью разных алгоритмов формирования сигналов управления движением центра масс в горизонтальной плоскости. Маневрирование в горизонтальной плоскости осуществляется, как правило, с помощью координированного разворота, а основным сигналом управления является сигнал управления креном, при формировании которого может использоваться только информация о текущем положении ВС относительно ЛЗП и скорости изменения этого параметра.

Простое решение задачи обеспечивается, например, при использовании нелинейного алгоритма



формирования заданного значения угла крена с ограничениями [2.3]:

$$\gamma_3^* = -k_z z^* - k_z \dot{z},$$

$$z^* = \begin{cases} z & \text{при } z < z_{\text{огр}} \\ z_{\text{огр}} & \text{при } z \geq z_{\text{огр}} \end{cases}, \quad \gamma_3 = \begin{cases} \gamma_3^* < \gamma_{3\text{огр}}^* \\ \gamma_3^* \geq \gamma_{\text{огр}} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $z_{\text{огр}}$  и  $\gamma_{\text{огр}}$  - предельные значения линейного бокового отклонения и угла крена.

В ходе синтеза алгоритма управления движением центра масс в процесс вывода ВС на ЛЗП должна быть определена не только структура закона регулирования, но и его параметры. В рассматриваемой задаче это коэффициенты передачи  $k_z$ ,  $k_{\dot{z}}$ , а также  $z_{\text{огр}}$ . Их выбирают исходя из следующих условий:

- переходные процессы при управлении движением центра масс должны быть без перерегулирования;
- динамика системы управления креном ВС не должна существенно влиять на процесс управления траектории полета;
- при больших начальных отклонениях ВС от ЛЗП должна быть реализована траектория с постоянным углом подхода.

Для получения необходимых соотношений, позволяющих выбирать параметры закона управления, рассмотрим простейшую модель движения центра масс ВС в ортодромической системе координат [2]:

$$\ddot{x} = -\frac{g}{V}(\dot{z} - U_z) \sin \gamma, \quad \ddot{z} = \frac{g}{V}(\dot{x} - U_x) \sin \gamma,$$

$$V = \sqrt{(\dot{x} - U_x)^2 + (\dot{z} - U_z)^2}, \quad \text{tg} K = -(\dot{z} - U_z) / (\dot{x} - U_x), \quad (2)$$

где  $x, z$  – ортодромические координаты,  $V$  – воздушная скорость,  $U_x$  и  $U_z$  - составляющие скорости ветра в проекциях на оси ортодромической системы координат,  $K$  - условный курс.

Систему управления креном будем считать идеальным динамическим звеном:

$$\gamma \equiv \gamma_3. \quad (3)$$

Уравнения (1-3) образуют замкнутую систему, описывающую движение центра масс ВС. При  $V \approx x - U_x$ ,  $\sin \gamma \approx \gamma$  она преобразуется к виду:

$$\ddot{z} + gk_{\dot{z}}\dot{z} + gk_z z = 0. \quad (4)$$

Это уравнение можно представить в форме:

$$\ddot{z} + 2\Omega_z \xi_z \dot{z} + \Omega_z^2 z = 0, \quad (5)$$

где  $\Omega_z = \sqrt{gk_z}$  – собственная частота колебаний системы, а  $\xi_z$  – коэффициент колебательности.

Из уравнения (5) найдем:



$$k_z = \frac{\Omega_z^2}{g}, k_z = \frac{2\Omega_z}{g} \quad (\text{при } \xi_z=1). \quad (6)$$

Частоту  $\Omega_z$  выбирают по второму условию:

$$\Omega_z = (0,05 - 0,1)\Omega_\gamma, \quad (7)$$

где  $\Omega_\gamma$  – собственная частота системы стабилизации крена.

При выборе параметра  $z_{оэп}$  учитывается то, что ВС совершает разворот до тех пор, пока не будет выполнено условие:

$$k_z z_{оэп} + k_z \dot{z}_\Pi = 0, \quad (8)$$

где  $\dot{z}_\Pi$  - линейная скорость бокового отклонения от ЛЗП на участке сближения.

Из уравнения (8) получаем:

$$z_{оэп} = \frac{k_z k_z \dot{z}_\Pi}{k_z}. \quad (9)$$

Величину  $\dot{z}_\Pi$  можно вычислить исходя из заданного курса подхода  $K_n$ . При отсутствии ветра получаем:

$$\dot{z}_\Pi = V \sin K_n. \quad (10)$$

Таким образом,

$$z_{оэп} = \frac{k_z k_z V \sin K_n}{k_z}. \quad (11)$$

Параметр  $z_{оэп}$ , как видно, зависит и от выбранного угла  $K_n$ , и от скорости полета.

Работоспособности и характеристики системы наведения при выводе ВС на ЛЗП с законом управления креном (1) исследованы методом математического моделирования задачи по уравнениям (1)-(3).

В ходе моделирования изучалось:

- способность системы наведения вывести ВС из любой точки пространства ЛЗП при любом начальном курсе,
- влияние ветра на траектории и навигационные параметры полета,
- чувствительность к ошибкам системы управления креном.

Некоторые результаты моделирования представлены на рисунках 1-5. Результаты получены при следующих параметрах модели:  $V=200\text{м/с}$ ,  $\Omega_z=0,05\text{с}^{-1}$ ,  $K_n=30^\circ$ .

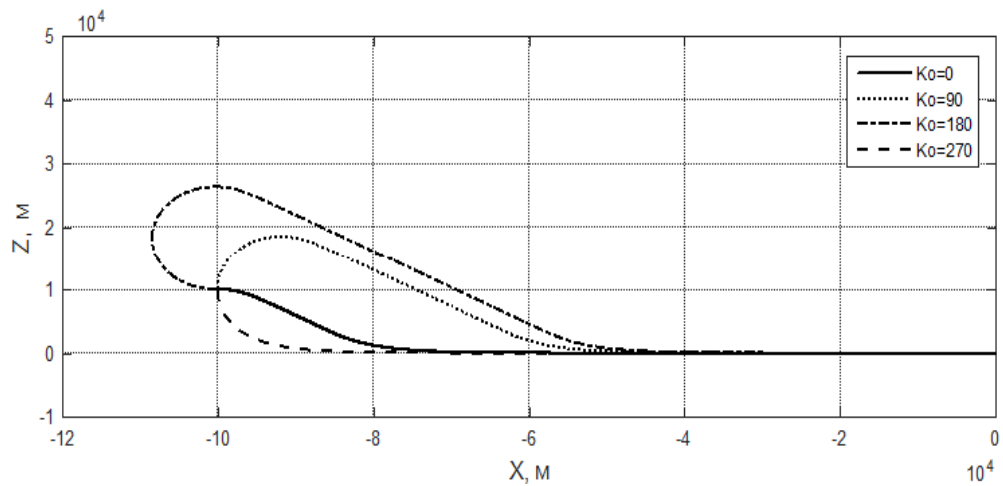


Рис. 1. Траектории ВС при выводе на ЛЗП

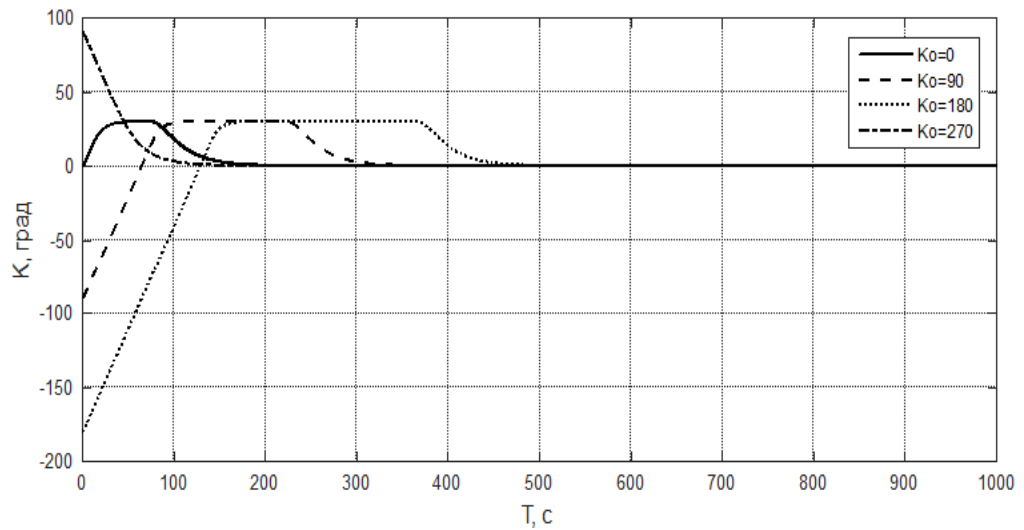


Рис. 2. Графики текущего курса при разных значениях начального курса ВС и отсутствии ветра

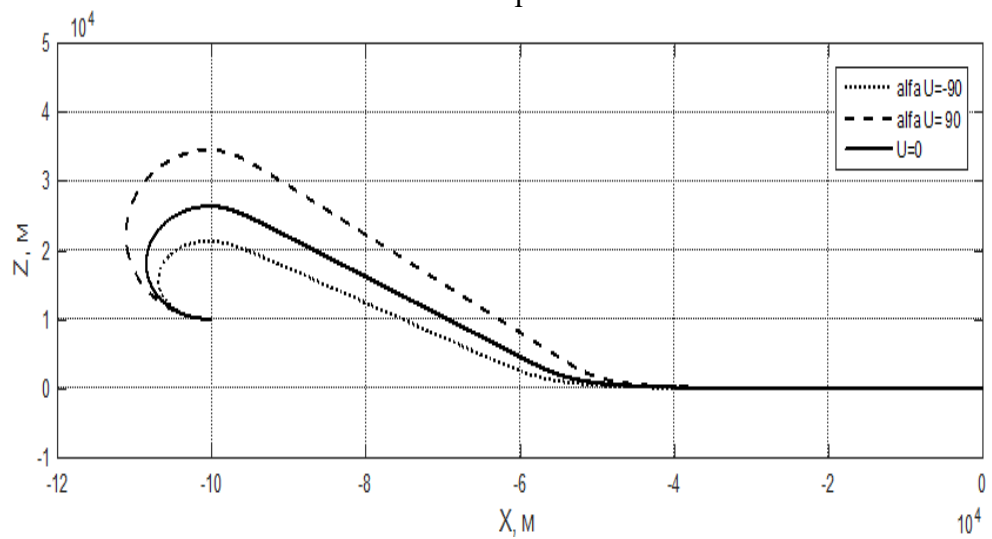


Рис. 3. Траектории ВС при наличии бокового ветра

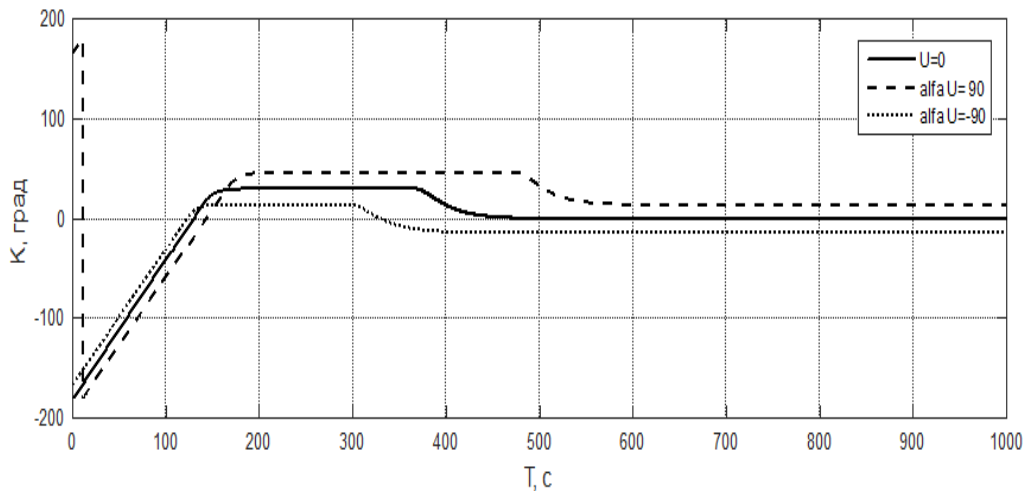


Рис. 4. Графики текущего курса при наличии бокового ветра

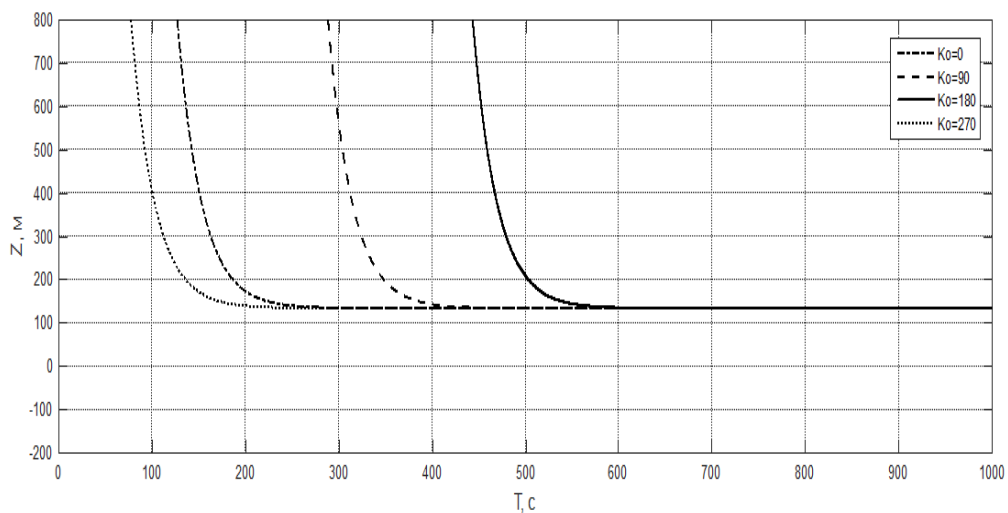


Рис. 5. Фрагмент конечного участка наведения ВС при наличии ошибки управления креном

### Заключение

По результатам моделирования сделаны следующие выводы:

1. Закон управления траекторным движением в форме (1) обеспечивает вывод ВС на ЛЗП из любой точки воздушного пространства при любом начальном курсе и подход к ней с заданным курсовым углом;
2. При действии бокового ветра изменяется угол подхода ВС к ЛЗП. При этом, время выхода на ЛЗП практически не меняется, а ошибка по боковому отклонению после окончания маневра становится равной нулю;
3. Основными причинами отклонения ВС от ЛЗП после завершения маневра являются ошибки измерения бокового смещения и ошибки системы управления креном при отработке заданного значения управляемого параметра.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вовк В.И., Липин А.В., Сарайский Ю.Н.* Зональная навигация. Учебное пособие. СПб.: АО Центр автоматизированного обучения. 2004. - 126с.
2. Под ред. Федорова С.М. Автоматизированное управление самолетами и вертолетами М.: Транспорт. 1977. - 246с.
3. *Байбородин Ю. В., Дробкин В. В., Сменковский Е. Г.* Бортовые системы управления



полетом М.: Транспорт. 1988. 336с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Буласова Валерия Геннадьевна** —  
магистрант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: valeriyabulasowa17@gmail.com

**Пономарев Валерий Константинович** —  
доцент, кандидат технических наук

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: Kodzhebash.99@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Bulasova Valeriya Gennedyevna** —  
master

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: valeriyabulasowa17@gmail.com

**Ponomarev Valery Konstantinovich** —  
associate professor, candidat of technical sciences

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: vkponomarev@rambler.ru



УДК 621.37.621.391

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-9-14

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО ФИНИТНО-ВРЕМЕННОГО МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ И ЕГО СРАВНЕНИЕ С АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ КАЛМАНА

**И. В. Светлов, Ю. П. Иванов**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Изложен метод оптимальной фильтрации, обладающий универсальностью, высокой устойчивостью и простотой алгоритма. Приведено сравнение рассматриваемого метода с фильтрацией Калмана. Рассматриваются случаи априорной неопределенности при неизвестных корреляционных функциях помехи и полезного сигнала.*

*Ключевые слова: финитно-временная фильтрация, фильтрация Калмана, априорная неопределенность.*

### **Для цитирования:**

*Светлов И. В., Иванов Ю. П. Исследование адаптивного финитно-временного метода фильтрации сигналов и его сравнение с адаптивной фильтрацией Калмана // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 9-14. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-9-14.*

## RESEARCH OF THE ADAPTIVE FINITE-TIME SIGNAL FILTERING METHOD AND COMPARISON WITH THE ADAPTIVE KALMAN FILTERING

**I. V. Svetlov, Yu. P. Ivanov**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The method of optimal characteristics, high stability and simplicity of the algorithm is presented. The method under consideration is compared with Kalman filtering. Cases of a priori uncertainty with unknown correlation functions of the noise and the useful signal are considered.*

*Key words: finite-time filtering, Kalman filtering, a priori uncertainty.*

### **For citation:**

*Svetlov I. V., Ivanov Yu. P. Research of the adaptive finite-time signal filtering method and comparison with the adaptive Kalman filtering // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 9-14. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-9-14.*

В настоящее время используются различные методы обработки и фильтрации сигналов, но наиболее широкое распространение получил метод фильтрации Калмана. Благодаря ряду достоинств данный метод может обеспечить необходимую точность оценки [1]:

- критерием оптимальности является среднеквадратическая ошибка оценки;
- оптимален во время переходного процесса;
- оценка сигналов осуществляется по рекуррентным формулам;
- использование всех измерений с момента начала работы для формирования текущих оценок.

Но наряду с достоинствами фильтрация Калмана имеет ряд недостатков [1]:

- заметная чувствительность к отклонениям характеристик наблюдаемых сигналов от заданных значений при определении параметров фильтра Калмана;
- достаточно большой объем исходной информации;
- модель оцениваемого сигнала должна иметь свойство марковости;
- необходимость вычисления нелинейного уравнения Риккати для работы алгоритма;
- необходимость представления сигнала в пространстве состояний;

Поэтому в данной работе представлен альтернативный метод фильтрации: финитно-временной метод оценки сигнала на примере сигналов скорости летательного аппарата [2].

В работе рассматривается линейная модель измерения сигналов скорости полета, описываемая уравнением:



$$Y_i = X_i + H_i, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

где  $Y_i$  – наблюдаемый случайный сигнал,  $X_i$  – случайная скалярная последовательность, определяющая полезный сигнал в момент времени  $i$ ,  $H_i$  – помеха измерения в момент времени  $i$ ,  $N$  – объем выборки.

Погрешность измерения не коррелирована с полезным сигналом. Модель измерения является линейной с аддитивной погрешностью. Модели сигналов и помех – случайные, эргодические, дискретные, с нормальными законами распределения погрешности, результатов измерения.

Критерием оптимальности для финитно-временного метода оценивания является минимум следа корреляционной матрицы ошибок оценок [3]:

$$D_{E_i} = \text{Tr} \left[ M \left[ E_i \times E_i^T \right] \right]$$

где  $E_i$  – центрированная ошибка оценки.

Заменим модель измерения на следующее соотношение:

$$Z_i = X1_i + H1_i, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

где векторы наблюдаемого, полезного сигналов и помехи при финитно-временном алгоритме определяются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} Z_i^T &= [Z_i, Z_{i-1}, \dots, Z_{i-r+1}], \\ X1_i^T &= [X1_i, X1_{i-1}, \dots, X1_{i-r+1}], \\ H1_i^T &= [H1_i, H1_{i-1}, \dots, H1_{i-r+1}]. \end{aligned}$$

В дальнейшем при исследовании финитно-временной фильтрации достаточно использовать только первую компоненту матрицы  $\hat{X}1_i^*$ .

Финитно-временной алгоритм оценивания сигналов основан на следствии теоремы ортогонального проецирования, по которому определяется оптимальная матрица преобразования размерностью  $r1 \times r1$ , где  $r1$  – количество результатов измерения, учитываемое в процессе оценки [3]:

$$A_i^* = K_{X1, Z_i} \cdot K_{Z_i}^{-1}.$$

Оптимальная оценка для финитно-временного алгоритма размерностью  $r1$  определяется следующей формулой [3]:

$$\hat{X}1_i^* = A_i^* \cdot Z_i$$

Корреляционная матрица оптимальных оценок сигнала размерностью  $r1$  на  $r1$  определяется следующим соотношением:

$$K_{\hat{X}1_i} = A_i^* \cdot K_{Z_i} \cdot A_i^{*T}$$



В работе рассматривается два вида априорной неопределенности: когда неизвестна матрица полезного сигнала  $K_{X1_i}$  и когда неизвестна матрица помехи  $K_{H1_i}$ .

При этом формулы, определяющие корреляционные матрицы можно представить в следующем виде:

$$K_{X1_i} = \hat{K}_{Z_i} - K_{H1_i}$$

при неизвестной корреляционной функции полезного сигнала и на:

$$K_{H1_i} = \hat{K}_{Z_i} - K_{X1_i}$$

при известной корреляционной функции помехи.

При анализе рассматриваемых алгоритмов основным параметром для сравнения является матрица дисперсий ошибки оценки, определяемая формулой:

$$\hat{K}_{Z_i} = \hat{K}_{Z_{(i-1)}} + \frac{1}{(i-1)} \cdot [(Z_i - M[Z_i])(Z_i - M[Z_i])^T - \hat{K}_{Z_{(i-1)}}].$$

В общем случае для использования финитно-временного алгоритма не обязательно условие стационарности и марковости сигналов.

В данной работе рассматривается стационарный случай, где модель полезного сигнала и модель погрешности – случайные стационарные эргодический процессы. Рассматриваются два адаптивных финитно-временных алгоритмов фильтрации при условии, что модели полезного сигнала являются стационарными гауссовскими марковскими 1-го и 2-го порядка процесса, погрешности в виде дискретного белого шума. Хотя для работы финитно-временного метода фильтрации условие марковости не обязательно, марковский процесс следует использовать для сравнения с методом фильтрации Калмана.

В качестве корреляционных функций полезного сигнала используются следующие виды:

$$Kx_{i,j} = \sigma_x^2 \exp\{-\alpha_x |i-j| \cdot d\},$$

$$Kx_{i,j} = \sigma_x^2 \exp\{-\alpha_x |i-j| \cdot d\} [\cos \beta_x |i-j| \cdot d + (\frac{\alpha_x}{\beta_x} \sin \beta_x |i-j| \cdot d)].$$

Корреляционные функции погрешности имеют вид:

$$Ke_{i,j} = \sigma_E^2 \cdot \delta_{i,j},$$

где  $\sigma_E^2$  – дисперсия погрешности сигнала,  $\delta_{i,j}$  – дельта-функция (функция Дирака), d – дискрет.

В процессе моделирования используются следующие исходные данные:

- математические ожидания M равны нулю;
- объем выборки  $N = 1000$ ;
- среднеквадратическое отклонение полезного сигнала  $\sigma = 1$  м/с;
- среднеквадратическое отклонение погрешности  $\sigma = 1$  м/с;
- объем памяти финитно-временной обработки  $rl = 4$ ;



- параметр корреляционной функции  $\alpha = 0,01$  1/с,  $\beta = 0,01$  1/с:
- дискрет  $d = 4$  с. Как известно, по теореме Котельникова дискрет не должен превышать значения [4]:

$$d < \frac{\pi}{\alpha \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} - 0,05 \cdot \frac{\pi}{2}\right)}$$

Сравнительные результаты моделирования для исследуемых алгоритмов приведены на следующих графиках:

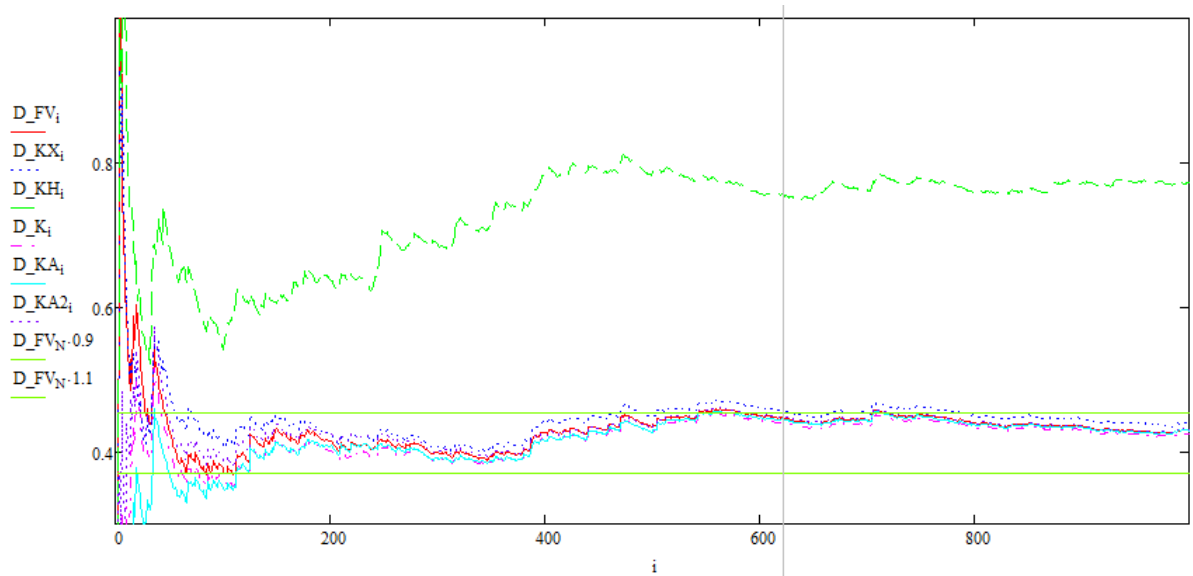


Рис. 1. Изменение дисперсии ошибок оценок фильтров сигнала 1-го порядка при номинальных данных во времени

Обозначения, представленные на рисунке:

- $D_{K_i}$ – дисперсия ошибок оценок статистической фильтрации Калмана;
- $D_{FV_i}$ – дисперсия ошибок оценок статистической финитно-временной фильтрации;
- $D_{KA_i}$ – дисперсия ошибок оценок адаптивной фильтрации Калмана при неизвестной корреляционной функции полезного сигнала;
- $D_{KX_i}$ – дисперсия ошибок оценок адаптивной финитно-временной фильтрации при неизвестной корреляционной функции полезного сигнала;
- $D_{KA2_i}$ – дисперсия ошибок оценок адаптивной фильтрации Калмана при неизвестной корреляционной функции помехи;
- $D_{KH_i}$ – дисперсия ошибок оценок адаптивной финитно-временной фильтрации при неизвестной корреляционной функции помехи.

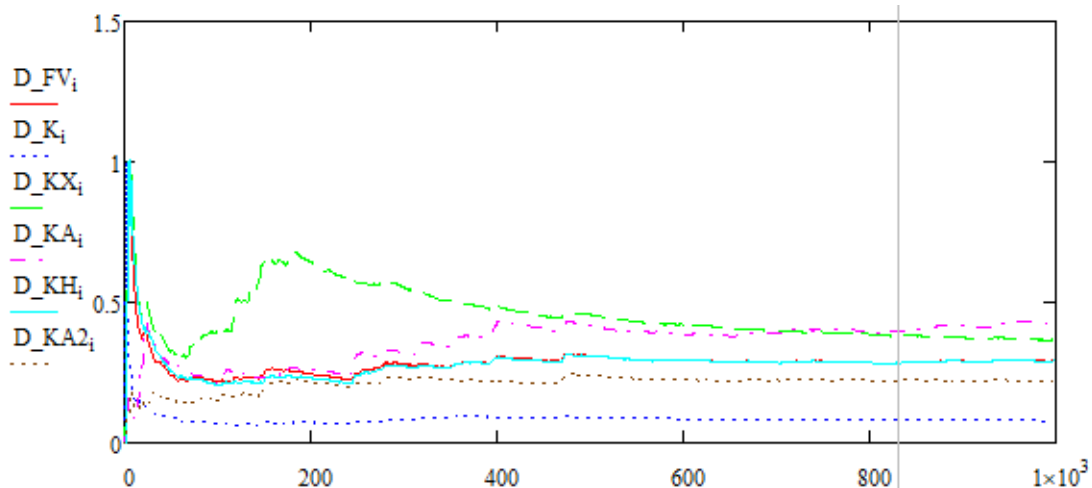


Рис. 2. Изменение дисперсии ошибок оценок фильтраций сигнала 2-го порядка при номинальных данных во времени

Обозначения, представленные на рисунке:

- $D_{K_i}$ – дисперсия ошибок оценок статистической фильтрации Калмана;
- $D_{FV_i}$ – дисперсия ошибок оценок статистической финитно-временной фильтрации;
- $D_{KA_i}$ – дисперсия ошибок оценок адаптивной фильтрации Калмана при неизвестной корреляционной функции полезного сигнала;
- $D_{KX_i}$ – дисперсия ошибок оценок адаптивной финитно-временной фильтрации при неизвестной корреляционной функции полезного сигнала;
- $D_{KA2_i}$ – дисперсия ошибок оценок адаптивной фильтрации Калмана при неизвестной корреляционной функции помехи;
- $D_{KH_i}$ – дисперсия ошибок оценок адаптивной финитно-временной фильтрации при неизвестной корреляционной функции помехи.

В результате данной работы можно сделать вывод, что оценка финитно-временной обработке при корреляционной функции  $Kx_{i,j} = \sigma_x^2 \exp\{-\alpha_x |i-j|\}$  приближается по точности фильтрации к оценке по методу Калмана при увеличении объема памяти  $r1$  во всех случаях, кроме случая при неизвестной помехе. Оценка финитно-временной обработки при корреляционной функции вида

$$Kx_{i,j} = \sigma_x^2 \exp\{-\alpha_x |i-j|\} [\cos \beta_x |i-j| + (\frac{\alpha_x}{\beta_x} \sin \beta_x |i-j|)]$$

близка по точности фильтрации к оценке по методу Калмана. Также следует отметить, что время переходного процесса адаптивного финитно-временного алгоритма фильтрации практически не уступает времени переходного процесса адаптивного фильтра Калмана.

Финитно-временная обработка является более универсальной, более простой в реализации, так как не требует марковости процессов, более устойчивой по сравнению с фильтром Калмана, при этом не уступает по показателям робастности и помехозащищённости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов Ю.П.* Финитно-временной метод оптимальной фильтрации дискретных сигналов / Иванов Ю.П. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2018. – №5. – С. 23 – 27.
2. *Светлов И.В.* Исследование финитно-временного метода фильтрации сигналов скорости летательного аппарата. / Светлов И.В., Иванов Ю.П. // Семьдесят третья международная студенческая научная конференция ГУАП. – 2020. – С. 43 – 46



3. *Иванов Ю.П.* Комплексирование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов / Иванов Ю.П., Синяков А.Н., Филатов И.В. – Под ред. В. А. Боднера. Л. Машиностроение, 1984. – 207 с.
4. *Иванов Ю.П.* Теория информационных измерительных систем. / Иванов Ю.П., Бирюков Б.Л. – ГУАП, 2013. – 160 с.

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Светлов Иван Валерьевич —**

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: voy.voy.palehche@mail.ru

**Иванов Юрий Павлович —**

к.т.н., доцент – научный руководитель  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: ypi35@mail.ru

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Svetlov Ivan Valerievich —**

master student of the department of aerospace measuring and computing complexes  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: valeriyabulasowa17@gmail.com

**Ivanov Yuriy Pavlovich —**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: ypi35@mail.ru



УДК 001.891

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-15-19

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАУКОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ РУКОВОДСТВА ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ В РОССИЙСКОМ ИНДЕКСЕ НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ И SCOPUS

**В. Д. Шарипова**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье представлен анализ публикационной активности в области руководства данными на основе российского индекса научного цитирования и базы данных Scopus. Данная область является актуальной в применении для лидеров цифровой трансформации, для которых важно сформировать инфраструктуру данных, поддержку их безошибочности, однозначности и ввести представления терминов. В работе выполнен ретроспективный анализ интенсивности публикации и представлены авторы и названия статей, имеющие наибольшие цитирования.*

*Ключевые слова: руководство данным, РИНЦ, Scopus, база данных, анализ публикаций, цифровая трансформация.*

### **Для цитирования:**

*Шарипова В. Д. Исследование наукометрических показателей в области руководства данными на основе публикационной активности в российском индексе научного цитирования и Scopus // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 15-19. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-15-19.*

## RESEARCH OF SCIENTIFIC MEASURES IN THE FIELD OF DATA GOVERNANCE BASED ON PUBLICATION ACTIVITY IN THE RUSSIAN SCIENTIFIC CITATION INDEX AND SCOPUS

**V. D. Sharipova**

State University of Aerospace Instrumentation

*The article presents an analysis of publication activity in the field of data governance based on the Russian Science Citation Index and Scopus database. This area is relevant in application for leaders of digital transformation, for whom it is important to form a data infrastructure, support their error-free, unambiguous, and introduce definitions of terms. The paper presents a retrospective analysis of the intensity of publication and presents the authors and titles of articles with the highest citations.*

*Key words: data governance, analysis of publications, Scopus, database, digital transformation.*

### **For citation:**

*Шарипова В. Д. Исследование наукометрических показателей в области руководства данными на основе публикационной активности в российском индексе научного цитирования и Scopus // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 15-19. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-15-19.*

### **Введение**

В современном мире – в век цифровизации и масштабного рассматривания данных в качестве ценного актива – всё чаще на передний план выходит руководство данными (Data Governance). Руководство данными становится стандартной практикой для многих организаций, ведь новые технологии обеспечивают возможность сбора и использования «больших данных» (неструктурированных или полуструктурированных данных в самых различных форматах). К тому же, осознание важности соблюдения этических принципов при обращении с данными и принципов их хранения всё время растут, равно как и растёт объём больших данных вместе с нашей способностью исследовать эти объёмы и применять их с целью развития организации. Ведь данные – это не только источник обогащения, но и риск. Этот факт постепенно становится очевидным для руководства компаний-гигантов после нанесённого ущерба в результате массовых нарушений в области сбора и хранения данных, а также многочисленных утечек информации.

Согласно опросу старших специалистов по аудиту, проводимым компанией Gartner, в 2019 г. руководство данными поднялось на первое место среди вопросов, интересующих руководителей



служб аудита (CAEs), по сравнению с годом ранее [1]. Исходя из этого, руководство данными является более серьёзной проблемой, чем даже обеспечение кибербезопасности.

Цель данной статьи заключается в исследовании актуальности вопроса руководства данными посредством анализа публикационной активности в данной области знаний, которая находит отражение в российском индексе научного цитирования (далее – РИНЦ), а также в библиографической и реферативной базе данных Scopus (далее – Scopus). РИНЦ – это национальная библиографическая база данных научного цитирования, аккумулирующая более 12 миллионов публикаций российских авторов, а также информацию о цитировании этих публикаций из более 6000 российских журналов [2]. Таким образом, база РИНЦ способна дать представление о том, насколько актуальным является то или иное направление в научных исследованиях, проводимых в России и, соответственно, показать перспективы его развития.

### Практическое исследование публикационной активности в РИНЦ

Для наиболее точного формирования запроса на поиск научных работ произведём поиск по ключевому слову: «руководство данными» и «data governance». Поисковая выдача по первому запросу оказалась равной нулю, а вторая показала результат, равный 19 научным работам. Добавим найденные результаты в подборку и произведём более глубокий анализ. Столь малое число научных работ может свидетельствовать о том, что данная тема является новой, пока ещё мало изученной российскими учёными.

Произведём поиск, отражающий распределение публикаций по организациям (рис. 1).

Сортировка: по числу публикаций		Выделить все	Снять выделение
<input type="checkbox"/>	Воронежский государственный университет инженерных технологий (2)		
<input type="checkbox"/>	University of Arizona (1)		
<input type="checkbox"/>	University of Washington (1)		
<input type="checkbox"/>	Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (1)		
<input type="checkbox"/>	Московский государственный институт международных отношений (университет) (1)		
<input type="checkbox"/>	Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ (1)		
<input type="checkbox"/>	Российский университет дружбы народов (1)		
<input type="checkbox"/>	Санкт-Петербургский государственный университет (1)		

Рис. 1. Поиск публикаций по организациям на портале eLibrary

Из поисковой выборки видно, что лидером по числу публикаций (2 шт.) на тему data governance является Воронежский государственный университет инженерных технологий.

Рассмотрим авторов, публикации которых представлены в РИНЦ (рис. 2).

Сортировка: по числу публикаций		Выделить все	Снять выделение
<input type="checkbox"/>	Бугаев Юрий Владимирович (2)		
<input type="checkbox"/>	Коробова Людмила Анатольевна (2)		
<input type="checkbox"/>	Деньгов Виктор Вениаминович (1)		
<input type="checkbox"/>	Матыцина Ирина Александровна (1)		
<input type="checkbox"/>	Миловидов Владимир Дмитриевич (1)		

Рис. 2. Результат выборки авторов по числу публикаций по выбранной теме

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что работы авторов Бугаева Ю. В. и Коробовой Л. А. представлены в наибольшем количестве (по 2 шт.).



Для того, чтобы определить, существует ли тенденция к увеличению/уменьшению интереса к теме руководства данными, выполним анализ количества публикаций по годам (рис. 3).



Рис. 3. Публикационная активность на тему руководства данными (2013-2020 гг)

На основании полученных результатов были определены следующие научные статьи, имеющие наибольшее количество цитирований (табл. 1). На основе данных статей можно сказать, что основными трендами являются безопасность данных, влияние больших данных на экономику, а также развитие систем для корпоративного управления.

Таблица 1 – Статьи, имеющие наибольшее количество цитирований

№	Название	Авторы	Год	Количество цитирований
1	Влияние современных технологических изменений на финансовую безопасность	Линников А. С., Масленников О. В.	2017	27
2	«Большие данные» как фактор изменения процессов принятия решений в экономике	Королев О. Л., Апатова Н. В., Круликовский А. П.	2017	13
3	Корпоративное управление 2.0: эволюция системы корпоративных отношений в информационном обществе	Миловидов В.Д.	2017	12

Для сравнения произведём анализ наукометрии базы данных Scopus (см. рис. 4, 5). Как видно, более 15000 документов образовали кластер.

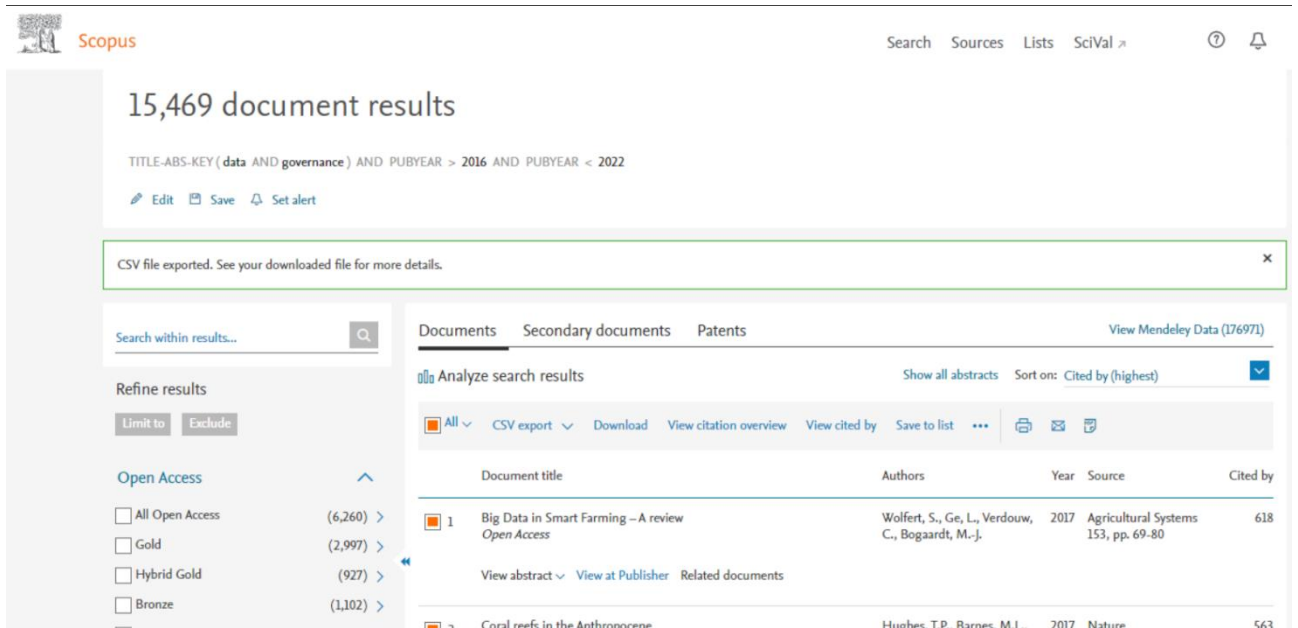


Рис. 4. Результат поисковой выдачи при запросе «datagovernance»

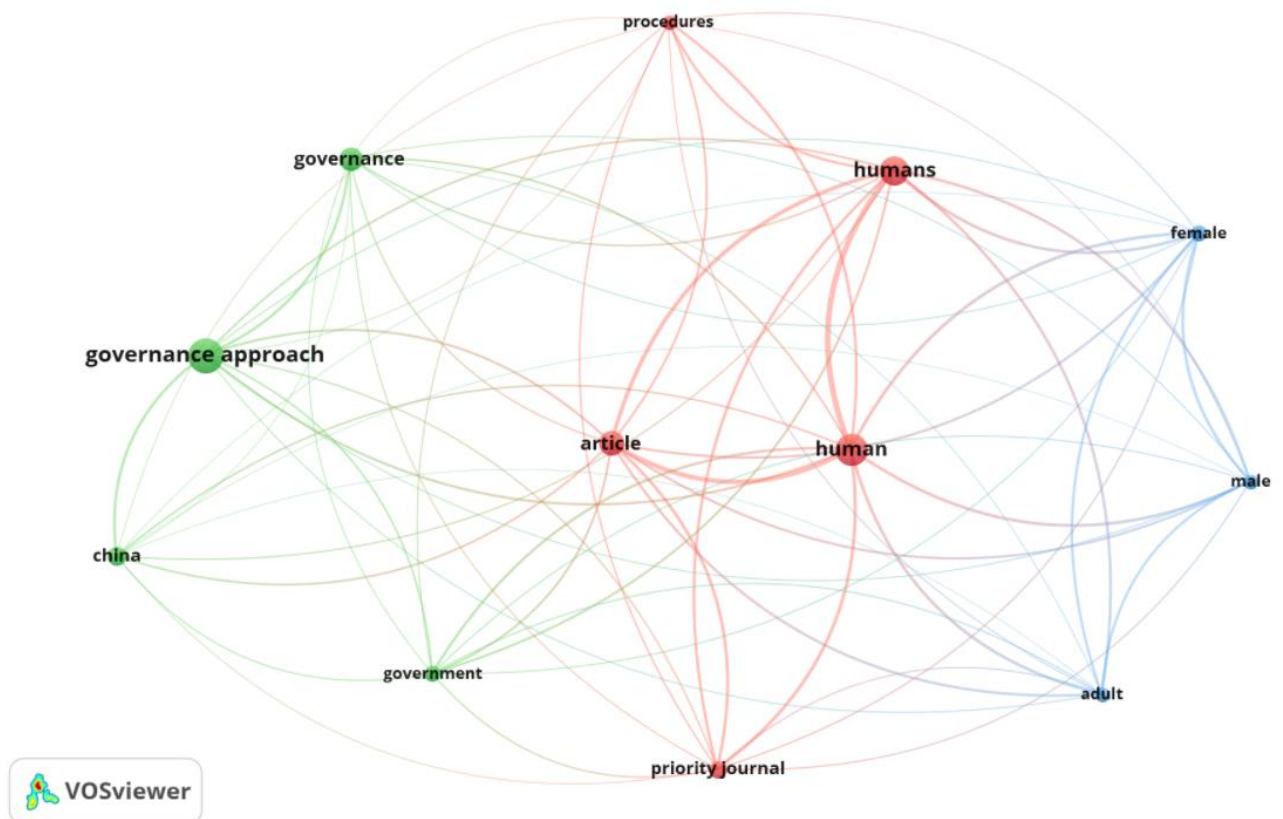


Рис. 5. Концептуальная карта взаимосвязей областей знаний

### Заключение

На основании проведенного исследования была определена публикационная активность, представленная в РИНЦ, в области руководства данными. На основании сформированных запросов была построена аналитика по количеству публикаций, по их распределению по организациям.

Исходя из полученной публикационной активности видно, что несмотря на малоизученность темы число публикаций в 2020 г. возросло в 2 раза по сравнению с 2019 г. – это говорит о тенденции увеличения интереса к тематике руководства данными. Небольшое число найденных работ и в то же



время актуальность темы в мире свидетельствуют о том, что теория не успевает за практикой, равно как и то, что данная область крайне перспективна для дальнейших исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gartner says companies need better data governance in 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3uTzFXF> (дата обращения: 03.05.2021 г.).
2. Российский индекс научного цитирования [Электронный ресурс]//eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека. – URL: [https://www.elibrary.ru/project\\_risc.asp?](https://www.elibrary.ru/project_risc.asp?) (дата обращения: 03.05.2021 г.).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Шарипова Виктория Дамировна** —

магистрант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

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

E-mail: [vika\\_sharipova@mail.ru](mailto:vika_sharipova@mail.ru)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Sharipova Viktoria Damirovna** —

master

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

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

E-mail: [vika\\_sharipova@mail.ru](mailto:vika_sharipova@mail.ru)



УДК 656.7

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-20-25

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ДРОНОВ

**А. С. Костин**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В данной статье рассмотрена тенденция применения дронов (квадрокоптеров) в различных сферах, в частности, в складской логистике. Сегодня сфера логистики активно развивается, в статье дан краткий анализ её развития в России и мире. Был произведен приблизительный расчет скорости инвентаризации при помощи квадрокоптера и выполнен анализ существующих решений на рынке. В статье приведен краткий перечень компаний, которые занимаются либо продажами готовых систем для инвентаризации, либо прорабатывают новые решения в данной сфере. В статье сделан краткий вывод о существующих решениях и приведен пример дальнейшего развития данных систем в целом, в частности, рассмотрен пример реализации данной системы на складе и ее интеграция в уже существующую складскую систему, выделены основные преимущества данного решения. Приведен пример технической реализации дрона для выполнения такой задачи, а также приведен пример программного кода для выполнения операции автономного полета внутри складских помещений.*

*Ключевые слова:* квадрокоптеры, дрон, инвентаризация, склад, логистика.

### **Для цитирования:**

*Костин А. С. Современные тенденции развития складской логистики с учетом применения дронов // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 20-25. РИНЦ, DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-20-25.*

## MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF WAREHOUSE LOGISTICS IN ACCOUNTING THE APPLICATION OF DRONES

**A. S. Kostin**

State University of Aerospace Instrumentation

*This article discusses the trend of using drones in various fields of application, in particular, the use of drones (quadcopters) in warehouse logistics. Today, this area of logistics is actively developing, the article provides a brief analysis of the development of the sphere in Russia and the world. An approximate calculation of the inventory speed using a quadcopter was made and an analysis of the solutions on the market was carried out. The article provides a short list of companies that either sell ready-made systems for inventory, or are working on new solutions in this area. In the article, a brief conclusion of this solution is made and an example of the further development of data in general is given, in particular, an example of the implementation of this system for integration into an existing warehouse system is considered, the main advantages of this solution are highlighted. An example of the technical implementation of a drone for performing tasks is given, as well as an example of such software for performing an autonomous flight operation inside a warehouse.*

*Key words:* quadcopters, drone, inventory, warehouse, logistics.

### **For citation:**

*Kostin A. S. Modern trends in the development of warehouse logistics in accounting the application of drones // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 20-25. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-20-25.*

### **Введение**

Сегодня дроны так прочно вошли в нашу жизнь, что редкий выпуск новостей обходится без упоминания об их участии в разнообразных событиях [1, 2]. Один из наиболее заметных трендов сегодняшнего дня – использование дронов в логистических целях. Здесь преобладают два направления: складские дроны, считывающие штрих-коды на упаковках, и дроны для доставки «последней мили». Несмотря на то, что плюсы использования дронов, казалось бы, очевидны, проблем на пути развертывания их применения множество [3, 4]. Приходится решать проблемы, связанные с законодательной базой, с кибербезопасностью и технические проблемы [5].

На текущий момент времени применение дронов на складе является одним из трендов развития



логистической отрасли. Сегодня склад представляет собой сложный технологический объект, разделенный на секции, выполняющий функции по управлению материальным потоком (продуктом компании). В свою очередь, склад включен в систему более сложного уровня – цепочку логистики, которая диктует правила складской организации, а также планирует стратегическое направление и критерии его деятельности. Складская логистика – это совокупность организационных мероприятий, направленных на управление запасами для оптимизации финансовых и информационных потоков. В рамках складской деятельности осуществляется концентрации продукции, правильного хранения и бесперебойной отгрузки товара для отправки потребителю [6].

Хотя в современной России развитие логистической отрасли идет достаточно быстрыми темпами, отечественный логистический рынок все же гораздо менее современен и эффективен, чем в ряде зарубежных государств. К основным проблемам отрасли в РФ можно отнести:

1. использование устаревшего оборудования и технологий;
2. недостаточно качественно проработанную логистическую инфраструктуру;
3. дефицит опытных и квалифицированных кадров;
4. недостаточную базу теоретического материала касательно управления складами;
5. неумение многих руководителей адекватно оценить проблемы своих предприятий.

Последняя из перечисленных проблем особенно важна. К сожалению, на российском рынке управление логистикой складирования достаточно часто добавляется к перечню рабочих задач руководителей предприятия. При этом в большинстве случаев они достаточно плохо разбираются в логистике и потому не используют все имеющиеся возможности [7].

Прибыльность компаний напрямую зависит от эффективности организации цепи поставок, а цель усилий логистов заключается в:

1. наличии требуемых запасов в нужное время в нужном месте;
2. создании гибкой системы поставок, при которой товар и клиент находятся недалеко друг от друга.

Конечно, подобные задачи и раньше стояли перед логистами, решаясь с разной степенью эффективности и объемом трудозатрат. Однако именно сегодня уровень развития технологий способен поддерживать любые инициативы компаний, преследующих амбициозные цели в области «цифровой трансформации». Современные инструменты обеспечивают реализацию огромного множества требований, возникающих на складах – ключевых звеньях логистической цепи. Ситуация с использованием дронов на складе несколько сложнее, хотя выгоды здесь не менее привлекательны [8].

Простой и самый логичный пример использования дронов – инвентаризация, а если точнее, то контроль точности высотного хранения – просчет паллет. Стандартный процесс (в соответствии с Межотраслевыми правилами по охране труда ПОТ Р М-027-2003 2.4.5.15. «...Не допускается: - использовать погрузчики для перевозок и подъема людей.») – снятие паллеты, сканирование, постановка паллеты, перемещение к следующей ячейке – в среднем занимает 3 минуты на одну паллету. Если проводить ту же процедуру с элементами «рационализаторства» - поднятие сотрудника на высоту, сканирование, перемещение – то можем получить средний результат 30 секунд на паллет, ну и в придачу все понятные риски подобной процедуры. При этом будут задействованы кладовщик, водитель погрузо-разгрузочной техники (ПРТ), сама ПРТ, а также в большинстве случаев оператор WMS для выдачи и обработки заданий. Учитывая затраты на используемые ресурсы, получим в случае даже «упрощенного» просчета (без снятия паллет) скорость в 120 пал/час, что в затратах выражается примерно в 1000 руб./ч или 50 руб./пал.

Практические испытания и расчеты показали, что даже с помощью дрона на ручном управлении можно достичь той же скорости в 120 пал/час. При этом не потребуются привлекать дополнительные ресурсы и технику, что в итоге превращается в 280 руб./час или 2 руб. за паллет. Учитывая стоимость самого дрона и вспомогательного оборудования, его применение окупит себя при просчете порядка 30000 паллет. А самое главное – это возможность задать маршруты и



расписания проверок паллет и ячеек, организовать полностью автономный процесс, похожий на ставшую уже привычной работу домашних роботов-пылесосов [15].

При явных преимуществах (мобильности, эффективности, стоимости и низком времени окупаемости) существует ряд факторов, ограничивающих широкое применение дронов на складах:

- несовершенство энергоносителей;
- недостаточная мощность и автономность;
- ограничение ориентации в пространстве по GPS в замкнутых помещениях;
- отсутствие законодательной базы.

Есть два варианта применения дронов в складской логистике. В первом случае компании предоставляют продукт, готовый комплекс, настраивают его на складе заказчика и переходят к другому проекту. Во втором – компании стремятся предоставить сервис на основе беспилотных технологий, например, сервис инвентаризации грузов [9]. В таблице 1 приведены компании, которые применяли дроны для инвентаризации внутри склада.

Таблица 1 – Компании, применявшие дроны для инвентаризации складов

№	Название компании	Описание
1	Кимберли-Кларк	Компания провела инвентаризацию продуктов на складе общей площадью около 25 тысяч кв.м. Дроны были снабжены высокоточными сканерами, искателями оптического диапазона и HD-камерами [10].
2	UVL Robotics	Компания провела инвентаризацию складов на заводе PepsiCo в Лебедяне для 6 000 паллет-мест. Дроны были оборудованы системой сканирования кодов, камерой высокого разрешения, датчиками предупреждения столкновения и системой позиционирования [11].
3	MIT	Массачусетский технологичный институт испытывает новую систему с небольшими дронами и RFID-метками для мониторинга складского инвентаря [12].
4	FIXAR	FIXAR Indoor возможно применять для инвентаризации складских помещений. Дрон обладает двумя камерами, ИК датчики, стробоскопами [13].

Как можно заметить, для реализации процесса инвентаризации склада при помощи дрона, в основном, применяются визуальные методы обнаружения штрих (qr) кодов при помощи камеры или специальных сканеров. Однако сам метод инвентаризации подразумевает ручное управление квадрокоптером оператором и не является оптимальным. Сейчас разрабатываются системы автономной инвентаризации при помощи дрона, когда оператор лишь задает область исследования и следит за процессом инвентаризации.

Для реализации автономной инвентаризации складских помещений необходимо обеспечить наличие инфраструктуры и системы связи квадрокоптера с базовой станцией и оператором [16].

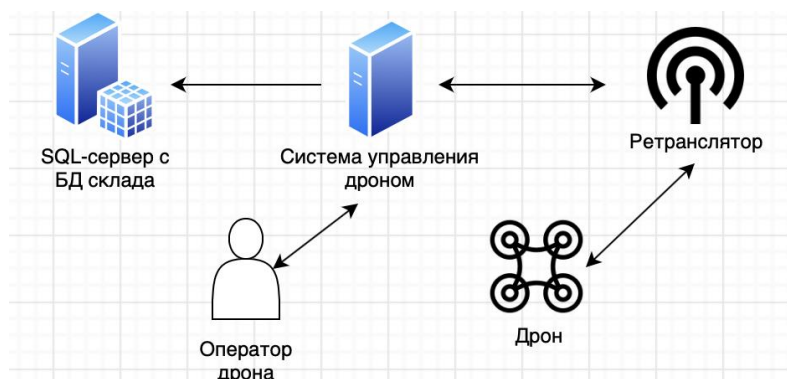


Рис. 1. Пример реализации системы инвентаризации склада

Оператор квадрокоптера осуществляет отправку команд на проверку определенных зон внутри склада, а также следит за осуществлением процесса инвентаризации, но не выполняет прямого



управления дроном [14]. Дрон в автономном режиме должен выполнить полет по заданной траектории и выполнить поиск меток для идентификации груза на стеллаже. Данная информация вместе с координатами должна быть отправлена в систему управления дроном, где оператор увидит найденные и распознанные метки в конкретных координатах, после чего информация будет отправлена на складской сервер с базой данных.

Для реализации автономного полета, квадрокоптер должен выполнить следующие задачи:

- выполнить автономный запуск двигателей и произвести взлет на заданную высоту;
- проследовать по заданному маршруту;
- выполнить автономную посадку и остановку двигателей.
- для реализации как одиночных ручных полетов при помощи оператора, так и для автономных полетов необходимо установить следующие компоненты:
  - полетный контроллер PX4 – подобный,
  - приемник дистанционного управления Flysky FS-A8S,
  - одноплатный компьютер Raspberry Pi 4,
  - специализированную широкоформатную камеру для Raspberry Pi 4 [12].

Данная конфигурация квадрокоптера позволяет использовать Raspberry Pi для того, чтобы запрограммировать автономный полет дрона. 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 другие функции. Для того чтобы указать координаты точки, в которую должен переместиться дрон, используется сервис `navigate` (прилететь в обозначенную точку по прямой).

```
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)
navigate(z = 1.5, frame_id = 'body', auto_arm = True)
rospy.sleep(5)

frame_id = ''
if dronepoint == '1':
    navigate_wait(x = 0.9, y = 0.9, z = 1.8, yaw = math.radians(90), frame_id = 'aruco_map', tolerance = 0.15)
    frame_id = 'aruco_105'
elif dronepoint == '2':
    navigate_wait(x = 2.7, y = 0.9, z = 1.8, yaw = math.radians(90), frame_id = 'aruco_map', tolerance = 0.15)
    frame_id = 'aruco_104'
else:
    land()
    rospy.sleep(4)
    arming = False

landing(frame_id)
rospy.sleep(3)
```

Рис. 2. Фрагмент исходного кода автономного полета квадрокоптера



Автономный полет позволяет в дальнейшем масштабировать систему инвентаризации и упростить данный процесс в целом, задавая лишь конкретные точки, в которых нужно определить тот или иной паллет, а также внедрить возможности группового полета дронов, что позволит увеличить скорость инвентаризации с управлением от одной базовой станции (системы управления дронами) и одного оператора квадрокоптеров.

Данное исследование проводится в ГУАП на базе лаборатории беспилотных авиационных систем Инженерной школы ГУАП при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № FSRF-2020-0004 «Научные основы построения архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств»).

### Заключение

Складская логистика – это рациональный взгляд на распределение, оформление и учет товаров, хранящихся на складе. Грамотно построенная складская логистическая система является одной из ключевых основ успешной работы предприятия, его развития и роста клиентуры. В ряде случаев, когда затраты на организацию подобной системы собственными силами оказываются слишком высоки для небольшого предприятия, имеет смысл отдать складские логистические функции на аутсорсинг.

Итак, основными отраслями, перспективными для роботизированных технологий, являются retail, fashion, beauty и FMCG. Интересно, что по словам директора по развитию Robosklad Сергея Максимова номенклатура food retail на 97% подходит для автоматизации. Ключевыми целями «больших» и «малых» роботов на складе эксперты называют: перемещение грузов, инвентаризацию, а также инспекцию складских/производственных помещений как на предмет несанкционированной деятельности, так и для мониторинга инженерных конструкций.

Дроны – то, что казалось лишь игрушкой – уже работают на складах, а по прогнозам будут использоваться в недалеком будущем пятой частью всех логистических компаний.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АЭРОНЕТ. Ассоциация эксплуатантов и разработчиков беспилотных авиационных систем. URL: <https://aeronet.aero/> (дата обращения: 01.09.2020).
2. *Костин А.С.* Вопросы современного развития рынка беспилотных летательных аппаратов / А.С. Костин, Н.В. Богатов // Системный анализ и логистика. 2019. – № 4 (22). – С. 65-72.
3. *Костин, А.С.* Анализ пассажиропотока остановок городского транспорта на основе использования беспилотных авиационных систем / А.С.Костин, Н.Н.Майоров // Организация и безопасность дорожного движения: материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием (Тюмень, 19 марта 2020 г.). Тюмень: ТИУ, 2020. С. 367-371.
4. *Maiorov, N.N.* Forecasting the operational activities of the sea passenger terminal using intelligent technologies / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov, S. Krile // Transport Problems. – 2018. – Vol.13 (Issue 1). – pp. 27-36. DOI: 10.21307/tp.2018.13.1.3.
5. Применение дронов в логистике: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] // Склад и техника URL: <https://bit.ly/3bnZiYU> (дата обращения: 07.05.2021).
6. Складская логистика – виды, принцип работы, аренда, персонал [Электронный ресурс] // Складская логистика URL: <https://bit.ly/3tRVBRE> (дата обращения: 07.05.2021).
7. Что такое складская логистика и как грамотно управлять складом [Электронный ресурс] // Основные функции складской логистики URL: <https://bit.ly/3w7xccl> (дата обращения: 07.05.2021).
8. Использование дронов на складе [Электронный ресурс] // Columbus



- URL: <https://www.columbusglobal.com/ru/blog/ispolzovanie-dronov-na-skladah> (дата обращения: 07.05.2021).
9. Был бы дрон – а склад найдется [Электронный ресурс] // Логистика в России URL: <https://bit.ly/3uQsVee> (дата обращения: 07.05.2021).
  10. "Кимберли-Кларк" провела инвентаризацию склада с использованием дронов [Электронный ресурс] // Цифровая экономика URL: <https://bit.ly/3uQsVee> (дата обращения: 07.05.2021).
  11. UVL Robotics создала сервис по беспилотной инвентаризации и провела успешные работы на заводе PepsiCo [Электронный ресурс] // Robogeek URL: <https://bit.ly/3yee1j5> (дата обращения: 07.05.2021).
  12. Дроны MIT проводят инвентаризацию склада по RFID-меткам [Электронный ресурс]. // Robogeek URL: <https://bit.ly/2SI4Wyu> (дата обращения: 07.05.2021).
  13. Промышленные дроны для мониторинга помещений [Электронный ресурс] // Fixar URL: <https://bit.ly/3fbWIM0> (дата обращения: 07.05.2021).
  14. *Майоров, Н.Н.* Практические задачи моделирования транспортных систем / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов // Санкт-Петербург : ГУАП, 2012. - 185 с.
  15. Дроны в логистике. В каких сферах они уже летают? [Электронный ресурс] // Логистика URL: <https://bit.ly/3uQ1al1> (дата обращения: 07.05.2021).
  16. *Костин А.С., Богатов Н.В., Вознесенский Е.А., Майоров Н. Н.* Исследование маршрутизации полетных заданий беспилотных авиационных систем для операционных складских задач // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: Вторая Международ. науч. конф. (СПб., 9-22 апреля 2021г.): сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2021. – 355с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Костин Антон Сергеевич** —

аспирант 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](mailto:anton13258@mail.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Kostin Anton Sergeevich** —

graduate student of the Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

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

E-mail: [anton13258@mail.ru](mailto:anton13258@mail.ru)



УДК 681.2

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-26-32

## СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОРГАНА УПРАВЛЕНИЯ (ЭЛЕВОН) АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМЫ «ЛЕТАЮЩЕЕ КРЫЛО»

**Д. В. Еленин**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье рассматривается возможность создания двух схем экспериментального органа управления в полёте для БПЛА схемы «Летающее крыло». Приводится концепция создания реального прототипа для эксперимента в среде Solidworks Flow и в аэродинамической трубе с низкой скоростью набегающего потока.*

*Ключевые слова:* крыло, аэродинамическая схема, БПЛА, летающее крыло.

**Для цитирования:**

*Еленин Д. В. Создание экспериментального органа управления (элево́н) аэродинамической схемы «Летающее крыло» // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 26-32. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-26-32.*

## CREATION OF AN EXPERIMENTAL CONTROL BODY (ELEVON) IN THE «FLYING WING» AERODYNAMIC SCHEME

**D. V. Elenin**

State University of Aerospace Instrumentation

*The article discusses the possibility of creating two schemes of an experimental control body in flight for a UAV of the "Flying Wing" scheme. The concept of creating a real prototype for an experiment in the Solidworks Flow environment and in a wind tunnel with a low incoming flow velocity is presented.*

*Key words:* wing, aerodynamic design, UAV, flying wing.

**For citation:**

*Elenin D. V. Creation of an experimental control body (elevon) in the «Flying wing» aerodynamic scheme // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 26-32. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-26-32.*

### Введение

В современной авиации беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА) уже плотно закрепились как отдельный подвид. Уже на сегодняшний день они выполняют множество задач и охватывают всё больше сфер, где их можно применить. В данном обзорном материале хотелось бы рассмотреть способ улучшения некоторых параметров БПЛА аэродинамической схемы «летающее крыло» в целях транспортировки различной полезной нагрузки.

Аэродинамическая схема «Летающее крыло» – разновидность схемы «бесхвостка» с редуцированным фюзеляжем, роль которого играет крыло, несущее все агрегаты.

Летающие аппараты (далее – ЛА), которые были созданы по такой схеме, увидели свет ещё в начале прошлого столетия. Первопроходцами в этой области были братья Хортен.

Особенностью «летающих крыльев», по сравнению с другими типами БПЛА, является отсутствие фюзеляжа, а также больших плоскостей управления, что снижает удельную массу планера и дает возможность существенно увеличить массу полезной нагрузки или запас топлива.

От привычной схемы ЛА её отличают 2 основных свойства:

- подъёмная сила генерируется всей поверхностью аппарата,
- у ЛА данного типа отсутствует хвостовое оперение.

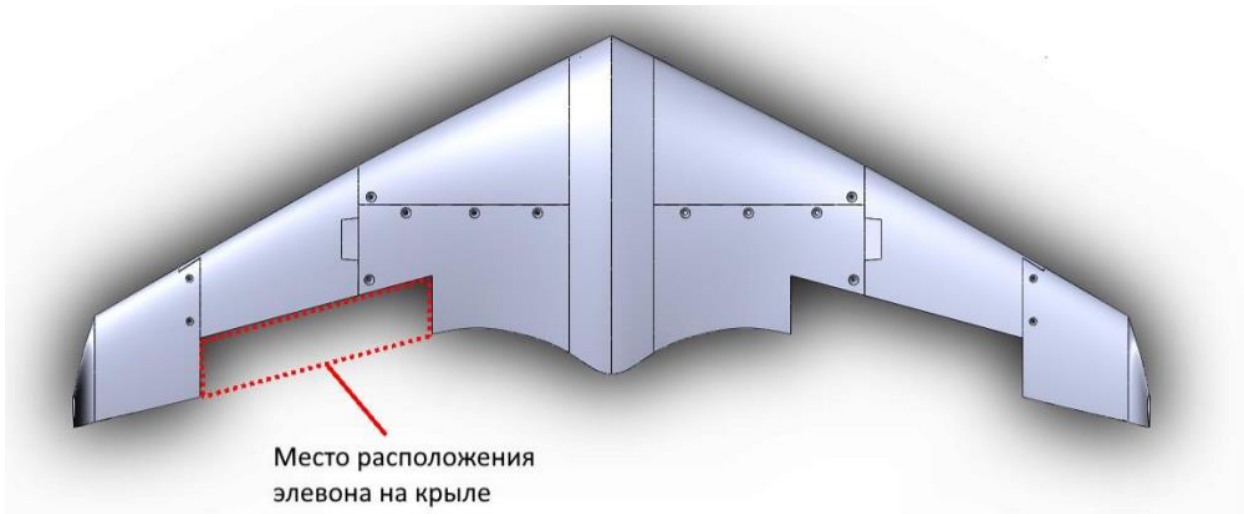


Рис. 1. Схематичное изображение БПЛА «Летающее крыло»

Из второй особенности вытекает следующее: у летающего крыла из-за отсутствия руля направления функцию корректировки курса и изменения высоты выполняет один и тот же орган управления – элевон.

Элевон – гибрид элеронов и руля высоты. Элевоны – аэродинамические органы управления самолётом, симметрично расположенные на задней кромке консоли крыла (см. рис. 1). Элевоны выполняют роль элеронов при управлении углом крена самолёта и руля высоты при управлении нормальной перегрузкой. Элевоны применяются на самолётах без горизонтального хвостового оперения, имеющих обычно схему типа «бесхвостка» или «летающее крыло». Для управления углом крена самолёта элевоны отклоняются дифференциально, то есть, например, для крена самолёта вправо правый элевон поворачивается вверх, а левый — вниз; и наоборот. Синфазное отклонение элевонов позволяет управлять нормальной перегрузкой самолёта, то есть, например, для увеличения тангажа самолёта в горизонтальном полёте оба элевона поднимаются вверх. Принцип действия элевонов состоит в том, что у части крыла, расположенной перед элевоном, поднятым вверх, подъёмная сила уменьшается, а у части крыла перед опущенным элевоном подъёмная сила увеличивается; при дифференциальном отклонении создаётся момент силы, изменяющий скорость вращения самолёта вокруг оси, близкой к продольной оси самолёта; а при синфазном отклонении создаётся момент силы, изменяющий скорость вращения самолёта вокруг боковой оси.

Элевон во время полёта работает в связке с сервоприводом. Это помогает ему откликаться на действия оператора или автопилота. Всё это необходимо для корректировки курса и стабилизации БПЛА. Так выглядит один из вариантов крепления механизма для изменения угла атаки элевона (см. рис. 2).

Механизация у многих беспилотников находится на внешней части крыла.

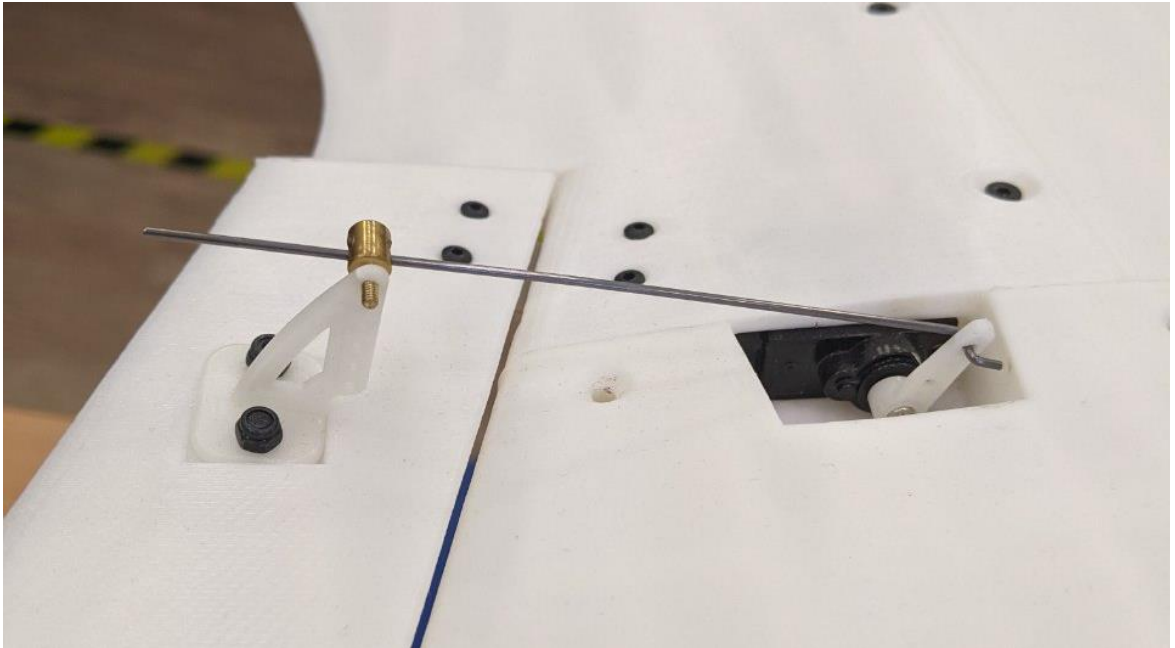


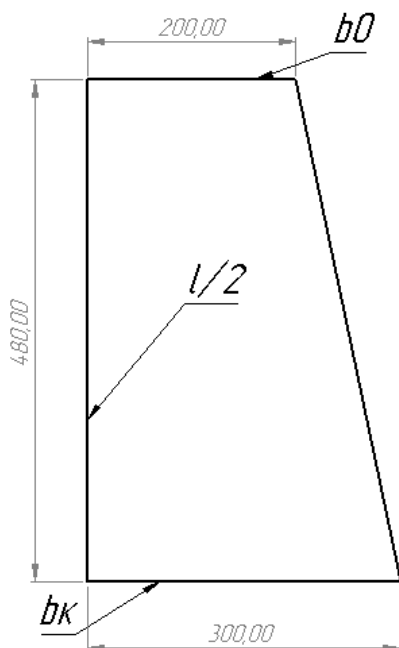
Рис. 2. Сервопривод, который приводит в движение элевон Летающего крыла

Экспериментальный элевон по факту является концепцией morphing wing, исследованием которых занимается множество аэродинамических лабораторий. Целью создания такого крыла является: сравнение аэродинамических свойств экспериментального образца с элевоном, который приведён выше.

Чтобы достичь более корректного сравнения двух разных способов крепления и управления элевона, будет создано крыло, которое по характеристикам совпадает с крылом, которое представлено на рисунке 3.

В основе исследования лежит аэродинамический профиль из серии NACA, а конкретно NACA 2414. Основные параметры профиля заложены в цифрах из названия [2].

Геометрические параметры полукрыла:



Корневая хорда:  $b_o = 300$  мм

Концевая хорда:  $b_k = 200$  мм

Размах:  $l = 960$  мм

Сужение:

Площадь полукрыла находится по формуле площади трапеции:

Рис. 3. Трапецевидное полукрыло

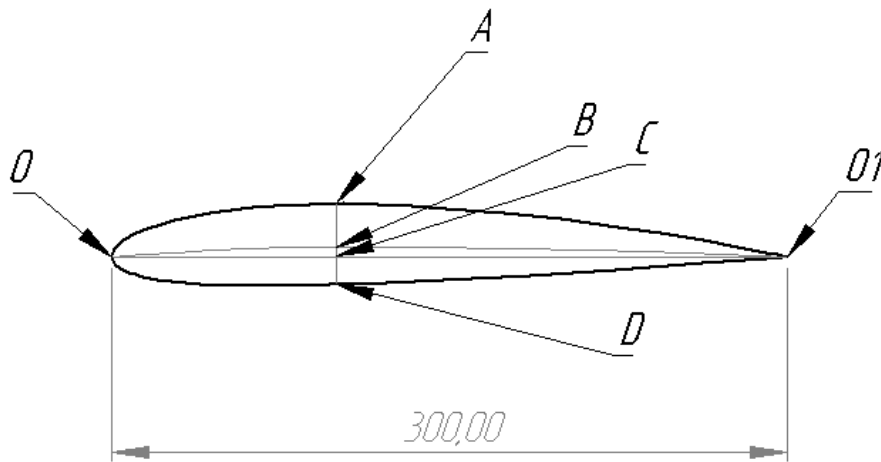


Рис. 4. Профиль NACA 2414

Основные параметры аэродинамического профиля NACA 2414:

$OO_1$  – хорда;  $OAO_1$  – средняя линия (определение средней линии  $AB = BD$ );  $AC$  – максимальная кривизна профиля;

$\frac{BC}{OO_1/100}$  = относительная кривизна профиля (f%);  $\frac{AD}{OO_1/100}$  = относительная толщина профиля (с%).

NACA 2414:  $CD = 2\%$ ;  $OC = 40\%$ ;  $AD = 14\%$  от  $OO_1$ .

Параметры и обозначение четырехзначного профиля NACA могут выражаться как в миллиметрах, так и в процентах от хорды. Тогда величины называют «относительными», например, относительная толщина или относительная кривизна профиля. В наименование четырехзначного профиля NACA входят значения относительных величин в процентах.

Прямая  $OO_1$ , соединяющая самые удаленные точки профиля, называется хордой профиля. Средняя линия  $OAO_1$  – это кривая из точек, равноудаленных по вертикали от верхней и нижней поверхности профиля [3].

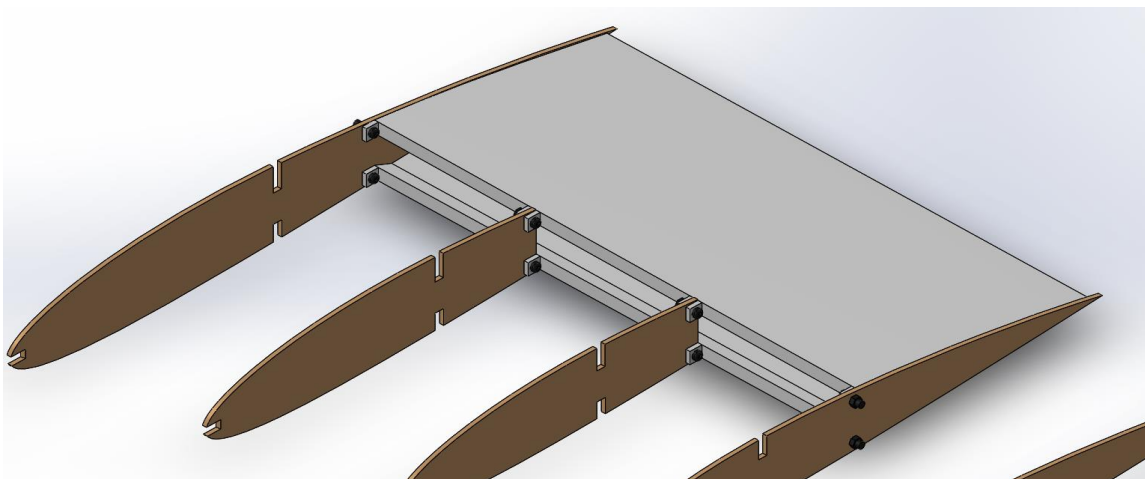


Рис. 5. Сборка деформирующегося элевона и части силового каркаса крыла

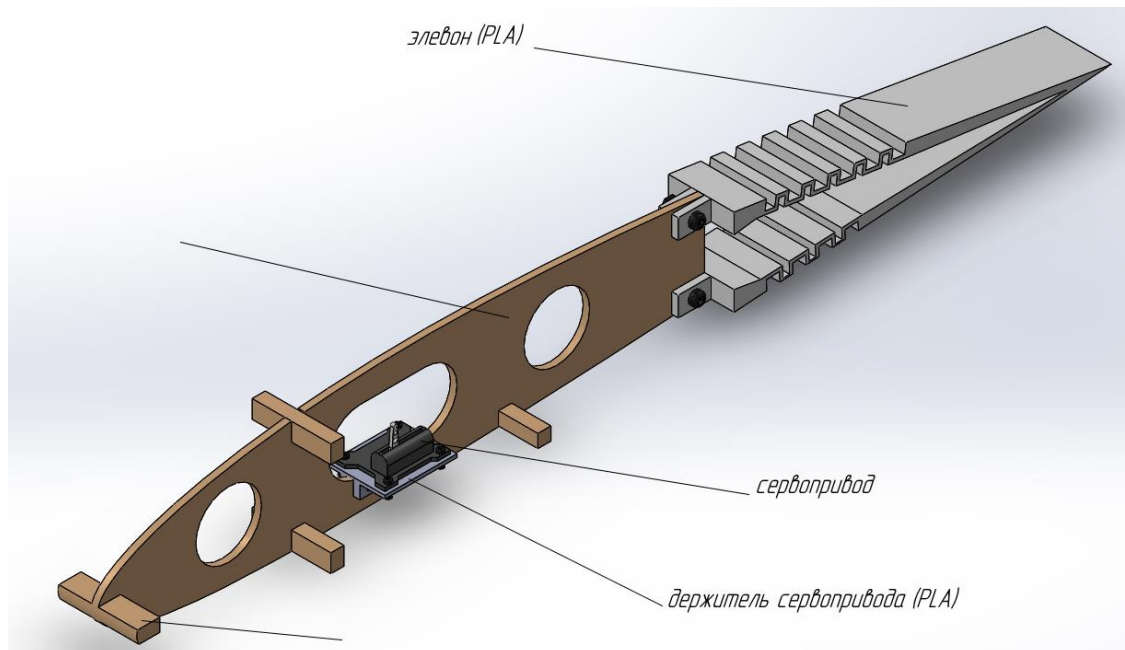


Рис. 6. Часть крыла (лонжерон с прикреплённым к нему элевоном в разрезе)

Элево́н будет находиться в районе задней кромки крыла, выполнен из PLA-пластика, модель экспериментального элево́на представлена на рисунке.

Центроплан БПЛА будет выполнен по технологии 3D-печати из PLA-пластика. Полукрыло имеет деревянный силовой каркас из бальсы и пластика, в частности некоторые стрингеры будут выполнены также по технологии 3D-печати.

Элево́н по такой концепции будет изменять угол атаки вследствие изменения положения качалки сервопривода. PLA-пластик из-за своих характеристик позволяет распечатать элементы, которые могут изгибаться под действием сил, приложенных при помощи сервопривода.

Вторая концепция деформирующегося крыла заключается в изменении угла атаки по всей продольной плоскости (см. рис. 7, 8)

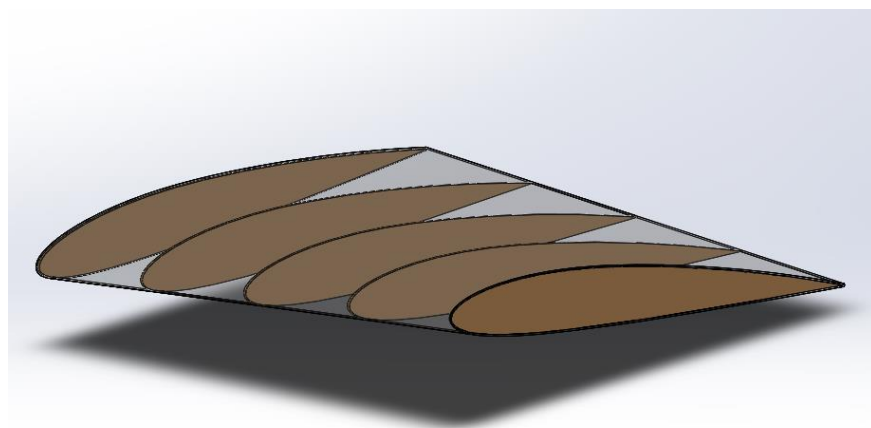


Рис. 7. Вторая концепция деформирующегося крыла

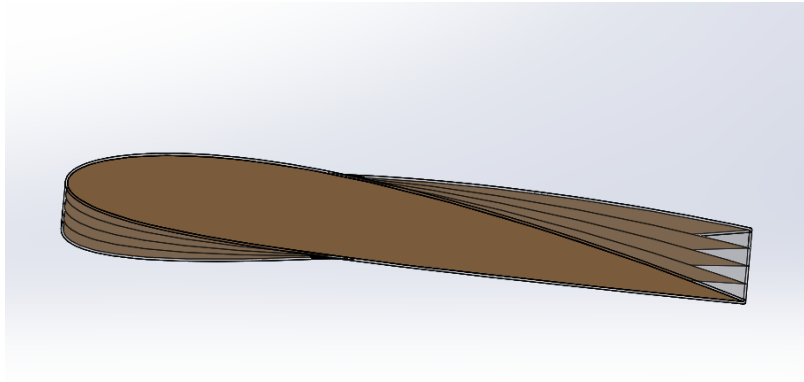


Рис. 8 Вид деформации сбоку

При такой компоновке необходимо выбрать другое решение силовых элементов в отличие от первой концепции. Также, как и первый образец, второй будет исследован в среде симуляции набегающего потока.

Для натурных испытаний данных крыльев необходимо использовать аэродинамическую трубу с низкой скоростью набегающего потока, чтобы полноценно произвести симуляцию реального полёта, т.к. БПЛА данного типа обычно двигаются на низких скоростях до 100 км/ч.

Деформирующееся крыло уже исследуется многими институтами, но до реального применения ещё не дошло [1, 4]. Эта концепция предполагает изменении геометрических параметров крыла во время полёта и избегает использования привычной механизации крыла. Целями аэродинамических экспериментов, связанных с деформирующимся крылом, являются: исследование аэродинамических качеств крыла; разработка силового каркаса способного принимать разные формы в зависимости от положения сервоприводов; интегрирование полукрыла в БПЛА «Летающее крыло» и облёт на реальном прототипе.

Такая концепция предполагает монолитное крыло, которое исключает крыло, в котором имеются прорези, отверстия, щели. Является адаптивным, что означает его способность деформироваться во время полёта в зависимости от режима полёта.

В большой авиации на эту концепцию возлагают надежды о снижении веса конструкции крыла, следовательно уменьшении расходов топлива. Также у технологии есть будущее и в сфере БПЛА, ведь такие крылья могут пригодиться в создании дальнего транспортного БПЛА, что на сегодняшний день является актуальной задачей.

### **Заключение**

В ходе будущего эксперимента будут произведены аэродинамические исследования в симуляторе SolidWorks Flow, также будет собран макет крыла в масштабе 1:3. После выполненной работы можно будет произвести сравнительный анализ более выгодной механизации крыла будущего беспилотника и внедрить эту технологию в уже существующие БПЛА.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. MIT news [Электронный ресурс] – URL: <https://bit.ly/3uSzMTq> (дата обращения: 10.05.2021 г.).
2. Airplane Flying Handbook, U.S. Department of Transportation FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION [Электронный ресурс] – URL: <https://bit.ly/2SLnbmI> (дата



обращения: 05.04.2021).

3. Самолётостроение, Самарский университет. [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3fkptAU> (дата обращения: 22.04.2021 г.).
4. Clean Sky's Morphing Wing project brings shape-shifting capabilities to European regional aircraft [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/2QnYmfZ> (дата обращения: 03.05.2021).

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Еленин Данил Витальевич** —

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: [lenin178192028@mail.ru](mailto:lenin178192028@mail.ru)

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Elenin Danil Vitalievich** —

student of the Department of Aerospace Measuring and Computing Complexes  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: [lenin178192028@mail.ru](mailto:lenin178192028@mail.ru)



УДК 658(075)

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-33-43

## АНАЛИЗ ОТПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВ ВНУТРЕННИМ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ В РАЙОНЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Э. А. Пиль, А. В. Бычков

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье представлен анализ публикационной активности в области руководства данными на основе В статье представлен анализ отправленных грузов водным внутренним транспортом и их прогноз с применением программы Линия Тренда, входящей в качестве программного обеспечения базы данных MS Excel. Этот анализ был основан на статистических данных за период с 2015 по 2020 годы включительно. Полученные уравнения показали, что при прогнозе следует применять линейное, логарифмическое, экспоненциальное и степенное уравнения, на основе которых был произведен анализ до 2030 года.*

*Ключевые слова:* Северный завоз, отправленные грузы водным внутренним транспортом, анализ, прогноз.

### **Для цитирования:**

*Пиль Э. А., Бычков А. В. Анализ отправления грузов внутренним водным транспортом в районы Крайнего Севера // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 33-43. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-33-43.*

## ANALYSIS OF THE SHIPMENT OF GOODS BY INLAND WATER TRANSPORT TO THE FAR NORTH

E. A. Pil, A. V. Bychkov

State University of Aerospace Instrumentation

*The article presents an analysis of shipped goods by inland water transport and their forecast using the Trend Line program, which is included in the MS Excel database software. This analysis was based on statistical data for the period from 2015 to 2020 inclusive. The resulting equations showed that the forecast should use linear, logarithmic, exponential and power equations, on the basis of which the forecast was made until 2030.*

*Key words:* Northern delivery, shipped goods by inland water transport, analysis, forecast.

### **For citation:**

*Pil E. A. Bychkov A. V. Analysis of the shipment of goods by inland water transport to the Far North // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 33-43. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-33-43.*

### **Введение**

Сначала дадим определение тому, что такое Северный завоз. Северный завоз – комплекс ежегодных государственных мероприятий по обеспечению территорий Крайнего Севера Сибири, Дальнего Востока и Европейской части России основными жизненно важными товарами (прежде всего, продовольствием и нефтепродуктами) в преддверии зимнего сезона [1].

Северный завоз как феномен обусловлен тремя причинами:

- отсутствием в районах Крайнего Севера собственной производственной базы большинства промышленных и многих сельскохозяйственных товаров;
- удалённостью основных промышленных районов на многие тысячи километров, что затрудняет и делает очень дорогой для частных юридических и физических лиц самостоятельную доставку товаров даже в летние месяцы;
- полным отсутствием транспортной инфраструктуры (автомобильных и железных дорог), за исключением воздушного или водного сообщения, в большинстве районов Крайнего Севера.

Более общей причиной являются крайне трудные природно-климатические условия в районах Крайнего Севера.

В этих условиях единственно возможной является централизованная закупка и



транспортировка товаров из южных областей России в районы Крайнего Севера. Эту обязанность как в СССР, так в современной России осуществляет государство за счет средств федерального бюджета и силами региональных и местных властей.

Объём северного завоза традиционно исчисляется в денежном, а не в натуральном выражении.

Завоз производится преимущественно воздушным транспортом, а также речным и морским, в том числе с использованием Северного Морского пути (СМП).

### **Перечень районов Крайнего Севера**

Одной из важнейших задач государственной политики в сфере транспорта является повышение эффективности Северного завоза. Здесь назрели существенные перемены правового, организационного, технологического, технического и финансового характера. Особую роль при этом должна играть цифровизация логистических услуг.

К территории, где осуществляется Северный завоз, отнесены Районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности с ограниченными сроками доставки грузов (продукции). Они располагаются на территории 25 субъектов Российской Федерации в труднодоступных и удаленных населенных пунктах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, где проживают 3 млн. человек. В конце 2016 г. Правительством Российской Федерации был актуализирован Перечень территорий Крайнего Севера и приравненных местностей, в которых осуществляется Северный завоз. Изменения затронули 11 из 25 субъектов, уточнив тем самым не только уровень развития инфраструктуры, но и число проживающих в труднодоступных районах (предыдущая редакция Перечня была принята в марте 2009 г.).

Северный завоз является одним из индикаторов развития Арктической зоны Российской Федерации и Крайнего Севера, которым уделяется все большее внимание со стороны руководства страны. Создание современного ледокольного флота, заложенного Государственной программой по развитию Арктики до 2025 года, в части мероприятий по развитию Северного морского пути и судоходства в Арктике, открывает дополнительные возможности для восстановления маршрутов Северного завоза, утраченных в 90-е годы прошлого века и более интенсивного использования для этих целей водного транспорта.

Ключевыми видами доставки товаров в труднодоступные районы являются водный и автомобильный транспорт (в том числе, по автозимникам).

По данным Росморречфлота перевозки грузов внутренним водным транспортом в 2016 г. осуществлялись в населенные пункты, расположенные в девяти бассейнах внутренних водных путей: Енисейском, Ленском, Обь-Иртышском, Обском, Байкало-Ангарском, Северо-Двинском, Печорском, Камском и Амурском. Грузовая база распределена по бассейнам неравномерно. Более половины перевозок приходится на Енисейский (30,2%), Ленский (21,7%) и Обь-Иртышский (19,1%) бассейны. Грузовая база других бассейнов меньше: Обский – 14,5%; Байкало-Ангарский – 6,3%, Северо-Двинский – 4,0%. Доля Печорского, Камского и Амурского бассейнов незначительна, на них суммарно приходится всего 4,3% от общего объема перевозок.

Наибольший удельный вес объема перевозок составляют сухогрузы (81,1%), из них каменный уголь и кокс – 10,3%, лесные грузы в плотках – 10,5%; нефтепродукты – 8,4% (1,5 млн. т, из них около 50% – в Ленском бассейне). По данным администраций бассейнов внутренних водных путей суммарный объем Северного завоза жизненно важных грузов по государственному заказу в 2016 г. составил 1642,7 тыс. т, в т. ч. угля – 619,2 тыс. т, нефти и нефтепродуктов – 664,0 тыс. т. Среднее расстояние доставки грузов составляет 905 км, максимальная – 4620 км (из Осетрово в направлении Индигирки).

Проектным офисом «Северный завоз» при поддержке Минэкономразвития России был проведен опрос регионов об итогах реализации Северного завоза в 2016 г. Согласно предоставленным данным сеть внутренних водных путей, соединяющихся с Северным морским путем, для целей Северного завоза практически не используется. При этом уровень



инфраструктурной обеспеченности Северного завоза водным транспортом год от года снижается. Из 19 регионов, представивших актуализированную содержательную информацию, трассы СМП используются для кампании Северного завоза только в четырех: Красноярского края, Ненецкого автономного округа, Республики Саха и Чукотского автономного округа.

Переломить эту ситуацию может ускоренное развитие судостроения и перевод транспорта на газомоторное топливо [2].

Ниже представлена карта России с Районами Крайнего Севера [3].



Рис. 1. Карта России с Районами Крайнего Севера [3]



Рис. 2. Трассы и акватория Северного морского пути

### Северный морской путь в двух видах

Устойчивая транспортная связь между экономически развитыми западными районами России



и отдельными восточными территориями имеет большое значение в плане социально-экономического развития, с точки зрения повышения оборонного потенциала в качестве резервной транспортной магистрали, а в перспективе может быть использована для организации массовых транзитных перевозок. СМП играет важнейшую роль в развитии экономики арктических и субарктических регионов России. Трассы и акватория Северного морского пути представлены на рисунке 2 [4].

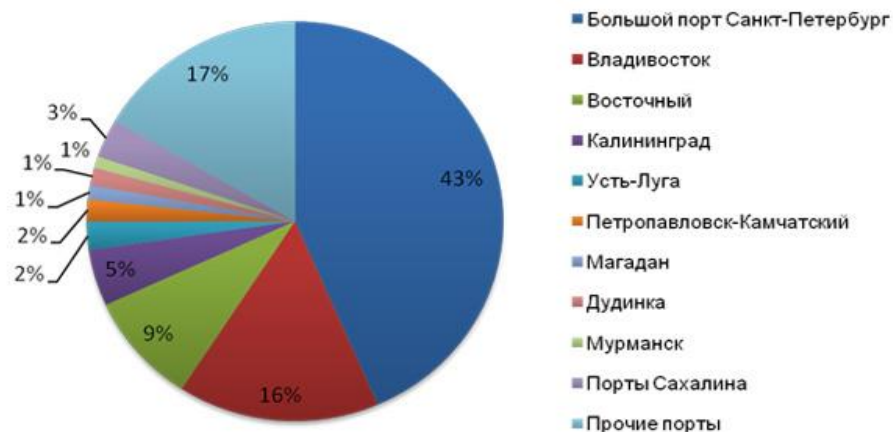


Рис. 3. Объем перевалки контейнеров в долях в морских портах России за 2015 год

С точки зрения государственных интересов СМП можно рассматривать как два вида транспортной системы: международный транспортный (транзитный) коридор и национальная арктическая транспортная система. В первом случае акцент делается на развитие транзитных перевозок по СМП на направлении Азия – Европа (по аналогии с Южным морским путем). Во втором случае СМП выступает в роли транспортной системы для обеспечения завоза и вывоза грузов из Арктической зоны России (северный завоз, шельфовые нефтегазовые месторождения, месторождения Обской и Тазовской губы).



Рис. 4. Схема Восточно-Сибирской железной дороги

Вне зависимости от варианта использования СМП главной задачей государства является обеспечение бесперебойной и безопасной работы транспортного и обеспечивающего флота в



Арктическом регионе. При этом следует учитывать, что СМП как транспортная система должен стремиться к самокупаемости эксплуатируемых объектов системы в пределах нормативных сроков.

Среди морских перевозок грузов особое место занимает перевозка грузов в контейнерах. Морские перевозки контейнеров – это один из наиболее эффективных способов доставки тарноштучных грузов на значительные расстояния. В контейнерах перевозится широкая номенклатура промышленных грузов, включая оборудование, автомобили, комплектующие, товары народного потребления, продовольственные продукты и др. Все большее развитие получают перевозки навалочных грузов в контейнерах. На рисунке 2 представлена круговая диаграмма объема перевалки контейнеров в долях в морских портах России за 2015 год по морским портам.

Оценивая СМП как морской транспортный коридор для доставки контейнерных грузов из Юго-Восточной Азии в Европу, не следует рассматривать его как конкурента Южному морскому пути.

Ниже представлена Схема Восточно-Сибирской железной дороги, по которой доставляются грузы [5]. Далее эти грузы перевозятся другими видами транспорта до пунктов назначения.

Таблица 1 – Отправление грузов внутренним водным транспортом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности с ограниченными сроками завоза грузов по годам, тыс. т.

№ п/п	Год	Отправление грузов водным внутренним транспортом, тыс. т.
1	2015	95773,8
2	2016	103536,2
3	2017	100665,7
4	2018	102155,5
5	2019	101547,1
6	2020	95421,6

Из представленной выше таблицы 1 видно, что отправление грузов для Северного завоза водным внутренним транспортом является нестабильным [1]. Это можно связать с вопросом пересыхания сибирских рек. Особенно тревожная ситуация складывается в верховьях Лены [7]. Из-за раннего обмеления реки у порта Осетрово пришлось сокращать объемы перевозок даже таких стратегических грузов, как материалы и оборудование для строительства газопровода “Сила Сибири”. По прогнозам, ситуация в верховьях Лены вряд ли улучшится. Скорее, будет наоборот. Что-то меняется в природе, и река в районе порта Осетрово (через него проходит все, что везут в Якутию речным транспортом) становится все мельче. По данным речников, в 1980 – 1990 годы, гарантированные глубины на участке Уст-Кут – Киренск составляли 220 сантиметров. А ныне в течение доброй половины лета загружать суда приходилось лишь наполовину, а то и на треть, поскольку уровень воды быстро понизился до полутора метров, а к концу навигации – и вовсе до метра [5, 6]. Так, например, 2013 год вообще стал для якутских транспортников кошмаром. Маломощный земснаряд не смог прорыть судоходный канал на баре Индигирки, и завоз жизнеобеспечивающих грузов в расположенные на этой реке районы был сорван. Доставлять туда топливо и многое другое пришлось круглым путем на автомобилях, что обошлось втридорога [6].

На рисунке 5 представлен график отправления грузов, который был построен на основе таблицы 1. Как видно из таблицы 1 и рисунка 5 при отправлении грузов внутренним водным транспортом есть большие спады в 2017 и особенно в 2020 году, который составил 47,71%.

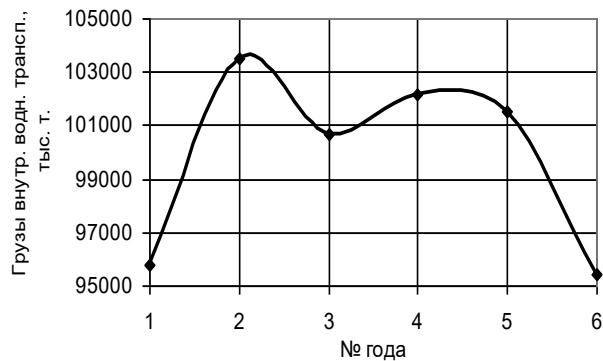


Рис. 5. Отправление грузов внутренним водным транспортом

Теперь произведем анализ отправленных грузов внутренним водным транспортом по годам, для чего воспользуемся Линией Тренда в MS Excel. На основе Линии Тренда были построены следующие девять графиков, которые представлены на рисунках 6–14. Для того, чтобы лучше воспринимались виды полученных уравнений, они были сгруппированы и сведены в отдельную таблицу 2 по степени уменьшения достоверности величины аппроксимации  $R^2$ . Здесь следует сразу отметить, что в полиномиальном уравнение при  $n = 5$ , значение  $R^2$  в столбце 4 равно единицы, поэтому в полиномиальном уравнение при  $n = 6$ , оно, естественно, тоже равно 1. Из таблицы 2 также видно, что линейное, логарифмическое, экспоненциальное и степенное уравнения имеют значения аппроксимации  $R^2$  очень маленькие, что и следовало ожидать от внешнего вида полученной кривой. Для выбора уравнения, позволяющего произвести прогноз отправления грузов внутренним водным транспортом на следующие годы, были также произведены такие расчеты как: среднее значение всех полученных результатов по девяти уравнениям, среднеквадратичное отклонение  $s$  и коэффициент вариации  $V$ .

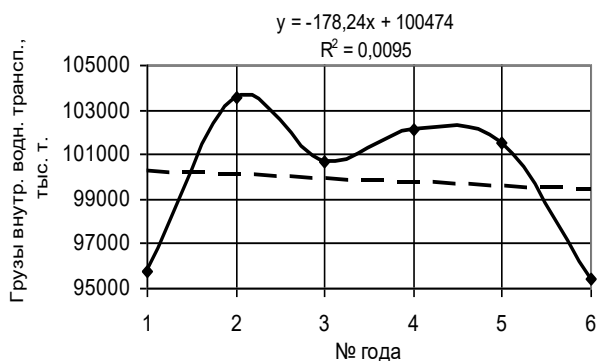


Рис. 6. Линейное уравнение

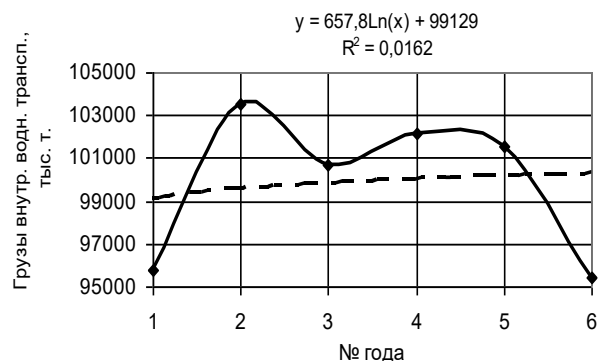


Рис. 7. Логарифмическое уравнение

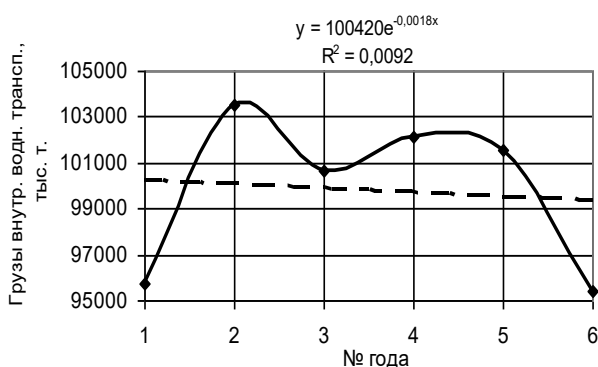


Рис. 8. Экспоненциальное уравнение

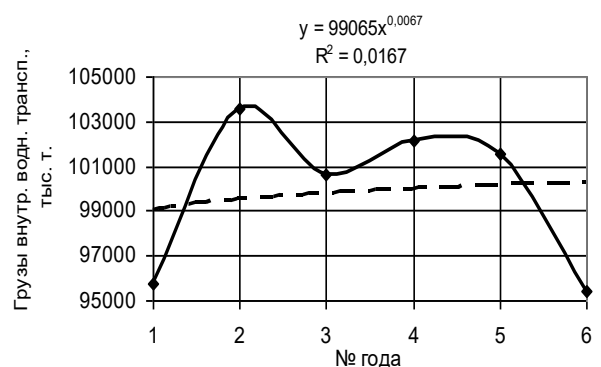


Рис. 9. Степенное уравнение

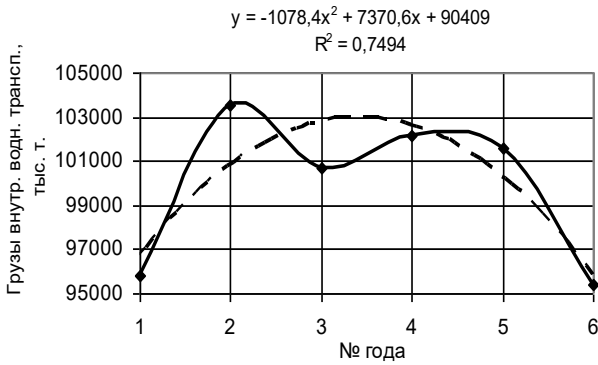


Рис. 10. Полиномиальное уравнение  $n = 2$

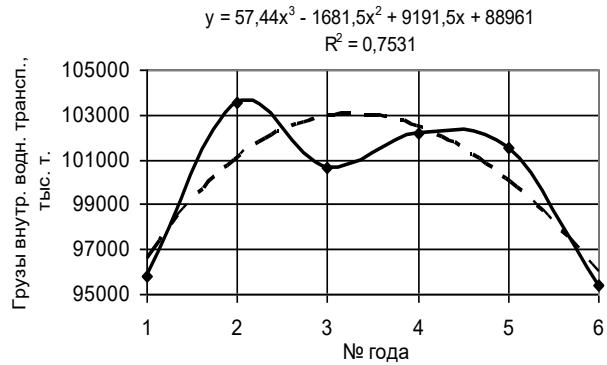


Рис. 11. Полиномиальное уравнение  $n = 3$

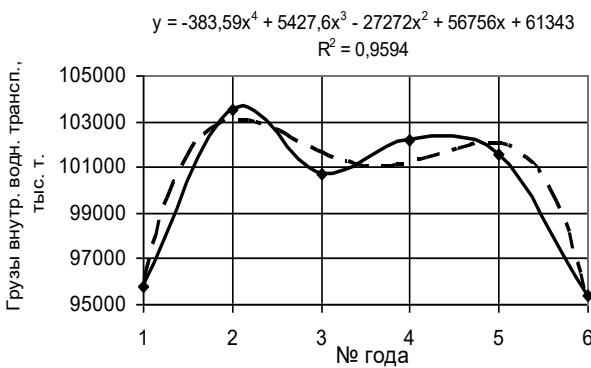


Рис. 12. Полиномиальное уравнение  $n = 4$

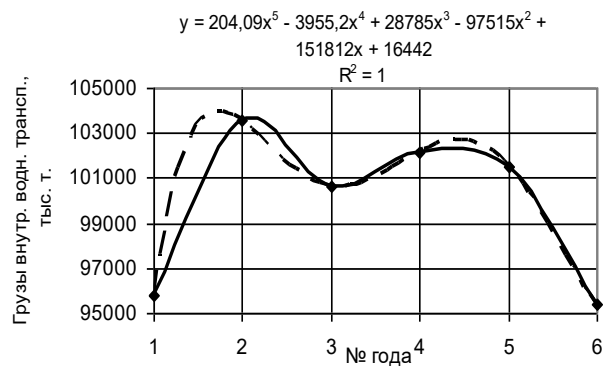


Рис. 13. Полиномиальное уравнение  $n = 5$

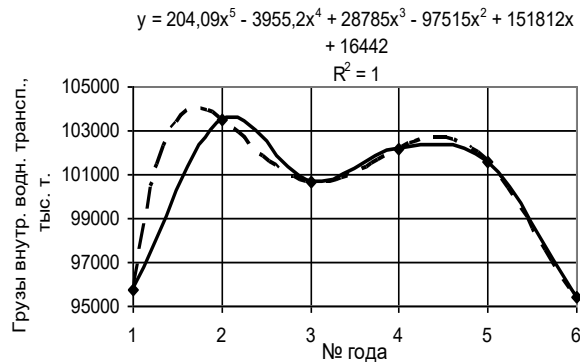


Рис. 14. Полиномиальное уравнение  $n = 6$

Полученные высокие значения аппроксимации  $R^2$  позволяет использовать их для прогноза отправления грузов внутренним водным транспортом в рассматриваемый период времени с 2021 по 2030 гг.

Таблица 2 – Сводная таблица уравнений и величин аппроксимаций  $R^2$  по степени уменьшения

№	Уравнение	Вид уравнения	Величины аппроксимации $R^2$
1	2	3	4
1	полиномиальное $n = 6$	$y = 204,09x^5 - 3955,2x^4 + 28785x^3 - 97515x^2 + 151812x + 16442$	1
2	полиномиальное $n = 5$	$y = 204,09x^5 - 3955,2x^4 + 28785x^3 - 97515x^2 + 151812x + 16442$	1



3	полиномиальное n = 4	$y = -383,59x^4 + 5427,6x^3 - 27272x^2 + 56756x + 61343$	0,9594
4	полиномиальное n = 3	$y = 57,44x^3 - 1681,5x^2 + 9191,5x + 88961$	0,7531
5	полиномиальное n = 2	$y = -1078,4x^2 + 7370,6x + 90409$	0,7494
8	степенное	$y = 99065x^{0,0067}$	0,0167
9	логарифмическое	$y = 657,8\text{Ln}(x) + 99129$	0,0162
6	линейное	$y = -178,24x + 100474$	0,0095
7	экспоненциальное	$y = 100420e^{-0,0018x}$	0,0092

Полученные результаты отправления грузов внутренним водным транспортом по годам по девяти уравнениям были сведены в таблицу 3, которая представлена ниже.

Таблица 3 – Сводная таблица отправление грузов внутренним водным транспортом по годам, тыс. т.

№ п/п	Год	Внутренний водный транспорт, тыс. т.	Лин	Лог	Эксп	Степ	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2015	95773	100296	99129	100239	99065	96701	96528	95871	95773	95773
2	2016	103536	100118	99585	100059	99526	100837	101078	103050	103534	103534
3	2017	100665	99939	99852	99879	99797	102815	102953	101637	100661	100661
4	2018	102155	99761	100041	99700	99989	102637	102499	101182	102147	102147
5	2019	101547	99583	100188	99520	100139	100302	100061	102029	101533	101533
6	2020	95421	99405	100308	99341	100261	95810	95983	95316	95399	95399

В представленной ниже таблице 4 сведены все расчеты по прогнозу отправления грузов внутренним водным транспортом по годам на период с 2021 по 2030 годы. Несмотря на то, что полиномиальные уравнения имели самые высокие значения аппроксимации  $R^2$  при прогнозе отправления грузов внутренним водным транспортом они показали либо отрицательные значения, либо слишком большие, выходящие за рамки реальных. При использовании полиномиального уравнения n = 3 значения отправленных грузов внутренним водным транспортом значительно уменьшаются и поэтому оно также не рассматривается при прогнозе. В таблице 4 были выделены жирным шрифтом те уравнения, которые можно рекомендовать при прогнозе.

Таблица 4 – Прогноз отправление грузов внутренним водным транспортом по годам, тыс. т.

№ п/п	Год	лин.	лог	эксп	степ	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	2021	<b>99226</b>	<b>100409</b>	<b>99163</b>	<b>100365</b>	89162	90610	62974	107851	107851
2.	2022	<b>99048</b>	<b>100497</b>	<b>98984</b>	<b>100455</b>	80356	84286	-22270	215020	215020



3.	2023	<b>98870</b>	<b>100574</b>	<b>98806</b>	<b>100534</b>	69394	77357	-196899	569543	569543
4.	2024	<b>98692</b>	<b>100644</b>	<b>98629</b>	<b>100605</b>	56275	70166	-506597	1425062	1425062
5.	2025	<b>98513</b>	<b>100706</b>	<b>98451</b>	<b>100669</b>	40999	63059	-1006259	3160709	3160709
6.	2026	<b>98335</b>	<b>100764</b>	<b>98274</b>	<b>100728</b>	23567	56379	-1759982	6305602	6305602
7.	2027	<b>98157</b>	<b>100816</b>	<b>98097</b>	<b>100782</b>	3977	50473	-2841074	11563329	11563329
8.	2028	<b>97979</b>	<b>100865</b>	<b>97921</b>	<b>100832</b>	-17769	45683	-4332044	19836447	19836447
9.	2029	<b>97800</b>	<b>100910</b>	<b>97745</b>	<b>100879</b>	-41672	42356	-6324611	32250966	32250966
10.	2030	<b>97622</b>	<b>100953</b>	<b>97569</b>	<b>100922</b>	-67732	40835	-8919698	50180843	50180843

Используя данные из таблицы 4, была построена таблица 5 в качестве окончательного результата.

Таблица 5 – Прогноз отправления грузов внутренним водным транспортом по годам, тыс. т.

№	Год	лин.	лог	эксп	степ	Среднее значение
1	2	3	4	5	6	7
2	2021	99226	100409	99163	100365	75238
3	2022	99048	100497	98984	100455	99746
4	2023	98870	100574	98806	100534	99696
5	2024	98692	100644	98629	100605	99642
6	2025	98513	100706	98451	100669	99585
7	2026	98335	100764	98274	100728	99525
8	2027	98157	100816	98097	100782	99463
9	2028	97979	100865	97921	100832	99399
10	2029	97800	100910	97745	100879	99334
11	2030	97622	100953	97569	100922	99267

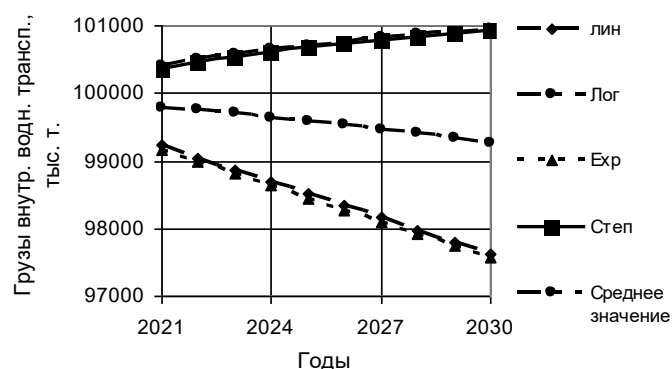


Рис. 15. Область прогноза отправления грузов внутренним водным транспортом по годам, тыс. т.

На основе таблицы 5 был построен рисунок 15. Этот рисунок показывает область, в которой могут варьироваться отправление грузов внутренним водным транспортом. На данном рисунке также представлена зависимость для среднего значения отправленных грузов. Как видно из рисунка 15, возможно как увеличение, так и уменьшение отправления грузов внутренним водным транспортом. Уменьшение отправления грузов означает, что доставка грузов стала осуществляться



другими транспортными средствами, т.к. поверить тому, что население будет покидать северные районы России, где расположены большие запасы газа и нефти и высокие зарплаты – маловероятно.

Исходя из определения Северного завоза и проблем с дорогами, для быстрой доставки продовольствия, нефтепродуктов, людей и врачей с больными, а также доставки специалистов на шельфовые месторождения можно предложить использовать экранопланы, которые разработаны в России. По экономичности и грузоподъемности экранопланы выигрывают у самолетов и вертолетов, а по скорости – у судов на подводных крыльях. Так, например, экраноплан «Чайка-2» позволяет преодолевать расстояние до 3000 км, развивая скорость до 400 км/ч в экранном режиме, перевозить груз в 15 тонн. Разработчики считают, что «Чайку» можно будет использовать и для освоения Арктики, так как экраноплан гораздо меньше подвержен влиянию погодных условий, чем вертолеты. В грузовом отсеке экраноплана может находиться спасательный катер, с помощью которого можно будет провести аварийно-спасательные и досмотровые работы (рис. 16) [8, 9, 11, 12, 13]. Кроме того, российскими конструкторами был разработан экраноплан А-050, который сможет развивать скорость более четырехсот километров в час. При этом этот экраноплан рассчитан на перевозку ста пассажиров на дальность в пять тысяч километров, а грузоподъемность аппарата приближена к корабельной [10]. Здесь также следует отметить и разработанный экраноплан «Орион-20», который позволяет перевозить 30 пассажиров и груз (рис. 17) [14].



Рис. 16. Экраноплан «Чайка-2»



Рис. 17. Экраноплан «Орион-20»

В завершении данной статьи следует отметить, что Россия стала возрождать тяжелые экранопланы с высокой грузоподъемностью, которые, естественно, можно будет использовать и при осуществлении Северного завоза [15].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Северный завоз [Электронный ресурс]. URL – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Северный\\_завоз](https://ru.wikipedia.org/wiki/Северный_завоз) (дата обращения: 24.03.2021).
2. СЕВЕРНЫЙ ЗАВОЗ: НАЗРЕЛИ ПЕРЕМЕНЫ [Электронный ресурс]. – URL: <http://rostransport.com/article/17938/> (дата обращения: 24.03.2021).
3. Что относится к крайнему северу [Электронный ресурс]. ]. – URL: <https://y-legal.ru/cto-otnositsya-k-kraynemu-severu.html> (дата обращения: 24.03.2021).
4. Арктические перевозки [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.morvesti.ru/themes/1700/62459/> (дата обращения: 24.03.2021).
5. Схема Восточно-Сибирской железной дороги [Электронный ресурс]. – URL: [https://w512.ru/vokzal/vost-sib\\_rzd.html](https://w512.ru/vokzal/vost-sib_rzd.html) (дата обращения: 24.03.2021).
6. Обмеление якутских рек поставило под угрозу северный завоз [Электронный ресурс]. – URL: <https://rg.ru/2016/11/03/reg-dfo/obmelenie-iakutskih-rek-postavilo-pod-ugrozu-severnij->



- zavoz.html (дата обращения: 24.03.2021).
7. У обмеления реки Лена есть глобальная причина [Электронный ресурс]. – URL: <https://cont.ws/@severo/1427075> (дата обращения: 24.03.2021).
  8. Экраноплан “Чайка” сможет летать где и как угодно [Электронный ресурс]. – URL: <https://teknoblog.ru/2019/07/09/100128> (дата обращения: 24.03.2021).
  9. Многоцелевой экраноплан «Чайка-2» разгонят до 400 км/ч [Электронный ресурс]. – URL: – <https://topcor.ru/10803-mnogocелеvoj-jekranoplan-chajka-2-razgonitsja-do-400-km-ch.html> (дата обращения: 24.03.2021).
  10. Российские конструкторы создали проект нового экраноплана [Электронный ресурс]. – URL: [mhttps://politpuzzle.ru/5723-rossijskie-konstruktory-sozdali-proekt-novogo-ekranoplana/](https://politpuzzle.ru/5723-rossijskie-konstruktory-sozdali-proekt-novogo-ekranoplana/) (дата обращения: 24.03.2021).
  11. Сдвижков О.А. Непараметрическая статистика в MS Excel и VBA. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 172 с.: ил.
  12. Годин, А. М. Статистика: учебник / А. М. Годин. – Москва: Дашков и К°, 2012. – 451 с.
  13. Пиль Э.А. Теоретические и статистические варианты развития экономики и населения различных стран мира и их прогноз // В 2 кн. – СПб.: Астерион, 2011. – 880 с.
  14. Новые российские экранопланы [Электронный ресурс]. – URL: [http://temperatures.ru/articles/novye\\_rossijskie\\_ekranoplani](http://temperatures.ru/articles/novye_rossijskie_ekranoplani) (дата обращения: 24.03.2021)
  15. Россия возрождает тяжелые экранопланы [Электронный ресурс]. – URL: <https://pravdoryb.info/rossiya-vozrozhdaet-tyazhelye-ekranoplany-127129.html> (дата обращения: 24.03.2021).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Пиль Эдуард Анатольевич —**

д.т.н., профессор кафедры системного анализа и логистики  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: epyle@rambler.ru

### **Бычков Александр Владимирович —**

студент  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: qwer54645@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Pil Eduard Anatolyevich —**

Dr. Sc., professor of the department of system analysis and logistics  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: epyle@rambler.ru

### **Bychkov Alexander Vladimirovich —**

student  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: qwer54645@mail.ru



УДК 519.237

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-44-51

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ЕЁ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НА ПРИМЕРЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

**Б. С. Ермаков**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье рассмотрена ситуация того, как структура искусственной нейронной сети может влиять на ее результаты. Исследуется многослойный перцептрон, перед которым стоит задача прогнозирования макроэкономических показателей. Проведены множественные эксперименты с сетями разной структуры – разным количеством скрытых слоев и разным количеством нейронов в этих слоях. По результатам экспериментов сделан вывод о том, что, в целом, до определенного предела увеличение размеров сети улучшает точность прогноза, но на некотором этапе дальнейшее увеличение становится нецелесообразным. Также эксперименты свидетельствуют о том, что проблема переобучения для перцептронов большого размера может быть не так существенна, как для других моделей машинного обучения, например, регрессионных.*

*Ключевые слова: искусственные нейронные сети, прогнозирование, многослойный перцептрон, переобучение, размер искусственной нейронной сети.*

### *Для цитирования:*

*Ермаков Б. С. Влияние структуры искусственной нейронной сети на ее эффективность на примере прогнозирования макроэкономических показателей // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 44-51. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-44-51.*

## THE IMPACT OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK'S STRUCTURE ON ITS EFFICIENCY FOR FINANCIAL INDICATORS FORECASTING

**B. S. Ermakov**

State University of Aerospace Instrumentation

*The article investigates the influence of artificial neural network's structure on the results, with example of multilayer perceptron for forecasting some of the financial indicators. Multiple tests were made with various networks structures: different numbers of hidden layers and different numbers of neurons in these layers. Based on tests results, the increase of network's size is effective to a certain extent, but at some point the further size increase is unreasonable. Also, the test results demonstrate that overfitting problem for multilayer perceptron is not as crucial as for the other machine learning models, such as regression.*

*Key words: artificial neural networks, forecasting, multilayer perceptron, overfitting, artificial neural network's size.*

### *For citation:*

*Ermakov B. S. The impact of artificial neural network's structure on its efficiency for financial indicators forecasting // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 44-51. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-44-51.*

### **Введение**

В 21 веке искусственные нейронные сети (ИНС) получают все более широкое распространение. Это мощный и универсальный инструмент, который может применяться, в частности, для прогнозирования сложных явлений. Одной из популярных архитектур ИНС является многослойный перцептрон, представляющий собой набор слоев, состоящих из нейронов. Количество этих слоев и количество нейронов в каждом слое оказывает существенное влияние на процесс обучения и на конечный результат. На данный момент не существует известного способа однозначно выбрать размер сети, который наилучшим образом соответствовал бы решаемой задаче. В общем случае, чем больше ИНС по размеру, тем больше информации об исследуемом объекте она способна вместить и как следствие – точнее воспроизводить исследуемые закономерности. Однако увеличение размеров сети, во-первых, ведет к увеличению времени, затрачиваемого на её обучение, а во-вторых, чревато т.н. проблемой «переобучения» – ситуации, в которой ИНС слишком точно подстраивается под



обучающую выборку и теряет способность к обобщению для данных за пределами этой выборки.

Целью данной статьи является исследование того, как структура ИНС (количество скрытых слоев и нейронов в них) влияет на точность прогнозов, предоставляемых обученной нейросетью, на примере прогнозирования значений нескольких макроэкономических параметров.

### Искусственные нейронные сети и переобучение

Искусственная нейронная сеть – математическая модель, имитирующая поведение биологических нейронных сетей. ИНС состоит из входов, выходов и слоев нейронов между ними. Искусственный нейрон представляет собой функцию от линейной комбинации выходов нейронов предыдущего слоя [1]:

$$\varphi = F(\sum_{i=1}^m w_i x_i + b),$$

где  $\varphi$  – выход сигнал нейрона,  $x_i$  – выход  $i$ -го нейрона предыдущего слоя,  $w_i$  – вес синаптической связи с  $i$ -м нейроном предыдущего слоя,  $b$  – пороговое значение,  $m$  – количество нейронов в предыдущем слое,  $F$  – функция активации нейрона, обычно используются сигмоида или гиперболический тангенс.

Если функция активации нелинейная, а сигнал распространяется по направлению от входов к выходам, ИНС называется многослойный перцептрон.

Для обучения используется  $N$  обучающих примеров, которые представляют собой множество пар входных данных и соответствующих им выходных данных:  $(x_n, y_n)$ ,  $n = 1 \dots N$ . Функция ошибки вычисляется как средняя по набору примеров обучающей выборки среднеквадратичная ошибка:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k (o_{ni} - y_{ni})^2,$$

где  $E$  – функция ошибки,  $o_{ni}$  – фактический  $i$ -й выход ИНС для данного входа  $x_n$ ,  $y_{ni}$  – требуемое значение  $i$ -го выхода ИНС,  $k$  – количество выходов ИНС.

Целью в ходе обучения ИНС является минимизация функции ошибки (обычно с помощью градиентного спуска). Параметры сети – веса связей между нейронами – на каждой итерации изменяются таким образом, чтобы уменьшалось расхождение между выходами ИНС и реальными данными. В результате нейросеть подстраивается под воспроизведение закономерностей, присутствующих в обучающей выборке.

Однако, в случае если объем обучающей выборки недостаточно велик или размер нейросети слишком большой для данной выборки, существует риск «переобучения» сети [2]. Такое явление свойственно многим моделям. Например, в [3] переобучение наглядно проиллюстрировано на примере аппроксимации синусоидальной функции полиномом:

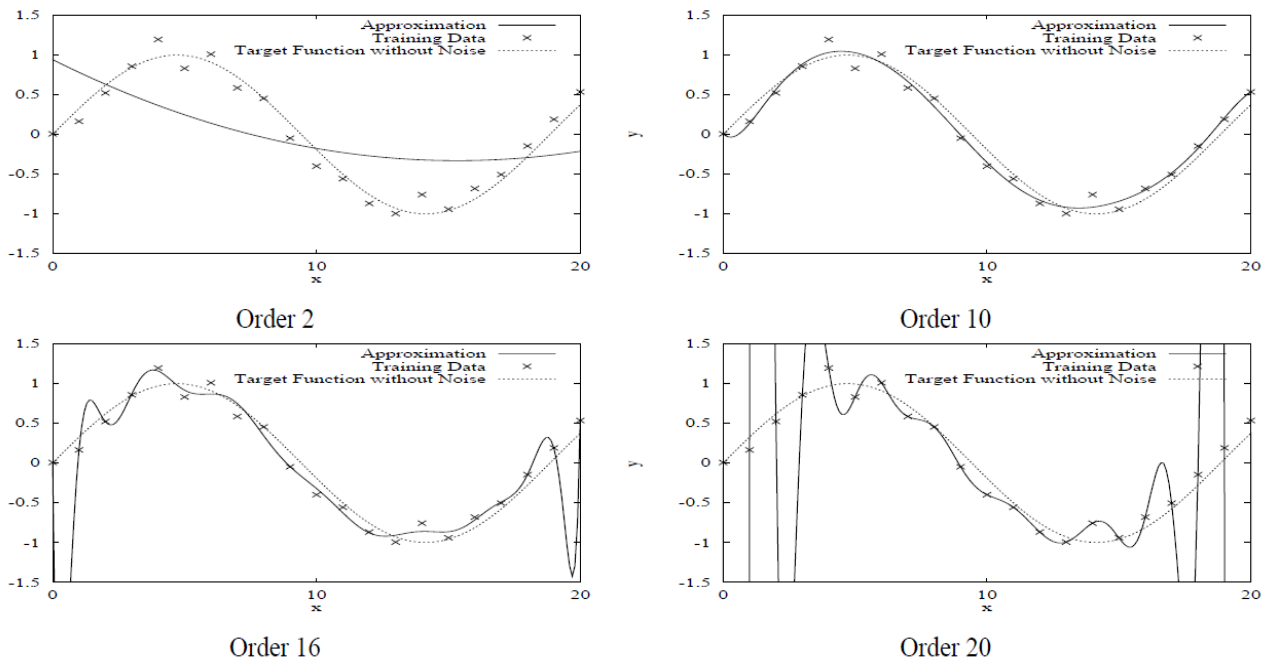


Рис.1. Аппроксимация сигмоидальной функции полиномами различной степени

Полином десятой степени аппроксимирует исходную функцию достаточно хорошо, полином 16-й степени уже имеет существенные отклонения. Полином 20-й степени почти безупречно проходит через все точки исходной выборки, но между ними его поведение не имеет ничего общего с исходной функцией. Такая модель слишком сложна для решаемой задачи, в ней слишком много свободных параметров, как следствие – модель в состоянии с высокой точностью воспроизвести обучающую выборку, но за ее пределами избыточная сложность модели приводит к паттернам, отсутствовавшим в исходных данных – теряется способность к обобщению.

Касательно оптимального размеров нейронной сети нет единого мнения. Традиционный подход заключается в том, что количество свободных параметров (весов связей между нейронами) должно быть в несколько раз меньше количества обучающих примеров. Однако есть и альтернативная точка зрения, согласно которой количество параметров нейросети должно быть примерно таким же по размеру как обучающая выборка, как, например, показано в [4].

Для решения проблемы переобучения в контексте нейросетей были предложены различные методы, среди них следующие [2]:

- ранняя остановка – в ходе обучения нейросети и по мере убывания ошибки на обучающей выборке, ее эффективность также оценивается по тестовой выборке, и как только ошибка на ней начнет расти обучение останавливается;
- сокращение сети – во время или после обучения из модели удаляются избыточные элементы;
- расширение обучающих данных – помимо очевидного добавления дополнительных обучающих примеров (которое не всегда является возможным), в некоторых случаях также добавляют новые данные сгенерированные на основе имеющихся;
- регуляризация – уменьшение значений параметров модели: даже если их слишком много, при отсутствии параметров со слишком большими (по модулю) значениями уменьшается вероятность существенных отклонений от реальных данных.

Переобучение является значительной проблемой, однако в данной статье экспериментально будет показано, что в случае нейронных сетей, в отличие от других моделей машинного обучения, переобучение может не оказывать существенного негативного влияния на результат.



### Эксперименты по прогнозированию

Чтобы оценить влияние структуры и размеров нейросети на ее эффективность, была проведена серия экспериментов по прогнозированию макроэкономических параметров. Прогнозировались значения курса доллара к рублю, стоимость барреля нефти марки Brent и индекс Московской биржи. На вход сети подавались средние значения по каждому из этих параметров за прошлые 2, 4, 6 и 10 дней. На выходе сеть предоставляла прогноз по этим трем параметрам на день вперед. Использовались дневные значения показателей за 10 лет: с января 2010 года по декабрь 2019 года (около 2.5 тысяч значений).

В ходе экспериментов проводились серии по 100 испытаний для каждой из конфигураций ИНС: от 1 до 3 скрытых слоев, от 10 до 1500 нейронов в слое. Нейросеть была реализована на языке Python с использованием библиотеки Scikit-learn.

Нейросеть имела архитектуру многослойный перцептрон, функцией активации был гиперболический тангенс, метод обучения – модификация градиентного спуска предложенная в [5], размер набора для стохастического градиентного спуска – 200 обучающих примеров. В нейросети использовалась L2 регуляризация [6] со стандартным значением параметра 0.0001. Точность в каждом серии экспериментов рассчитывалась как средняя точность по каждому из 200 примеров тестовой выборки (остальные примеры использовались для обучения).

Результаты испытаний приведены в таблице 1: второй столбец представляет собой количества нейронов в скрытых слоях ИНС, третий – среднюю точность прогноза по 100 испытаниям для данной структуры ИНС, четвертый – среднее время ушедшее на обучение ИНС.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

№	ИНС	Точность, %	Время, с
1	[10]	92.57	0.2
2	[20]	94.62	0.2
3	[30]	95.47	0.2
4	[50]	96.58	0.2
5	[100]	97.86	0.3
6	[200]	98.56	0.5
7	[500]	98.89	1.0
8	[1000]	98.99	2.6
9	[1500]	99.00	4.7
10	[10, 5]	91.59	0.4
11	[20, 10]	94.44	0.4
12	[50, 20]	97.01	0.4
13	[50, 50]	97.98	0.7
14	[100, 50]	98.32	0.9
15	[100, 100]	98.57	1.0
16	[200, 50]	98.67	1.1
17	[200, 100]	98.77	1.4
18	[200, 200]	98.82	1.8
19	[500, 100]	98.93	2.6
20	[500, 200]	99.03	3.7
21	[500, 500]	99.07	8.5
22	[1000, 100]	99.02	4.9
23	[1000, 500]	99.11	18.7
24	[10, 10, 10]	92.56	0.3



25	[50, 30, 10]	96.85	0.6
26	[50, 50, 50]	98.13	0.8
27	[100, 50, 20]	98.19	0.8
28	[100, 100, 100]	98.55	1.1

Далее представлены графики зависимости точности прогноза от структуры ИНС.

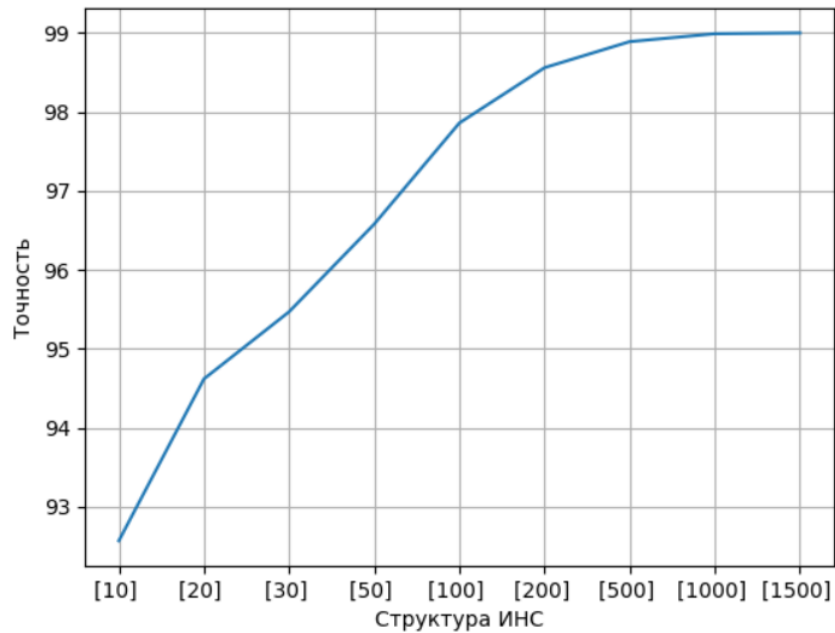


Рис. 2. Точность прогноза ИНС с одним скрытым слоем

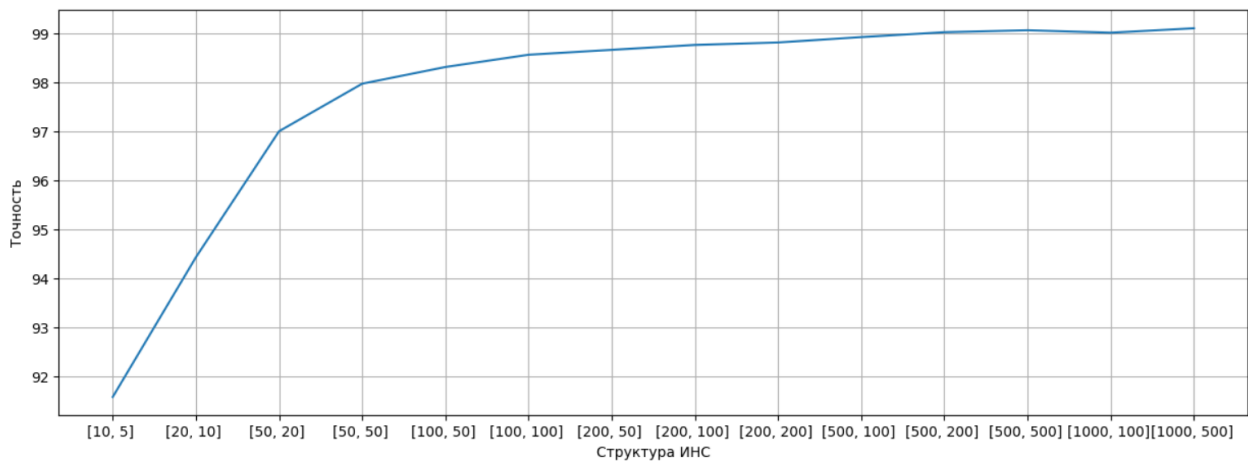


Рис. 3. Точность прогноза ИНС с двумя скрытыми слоями

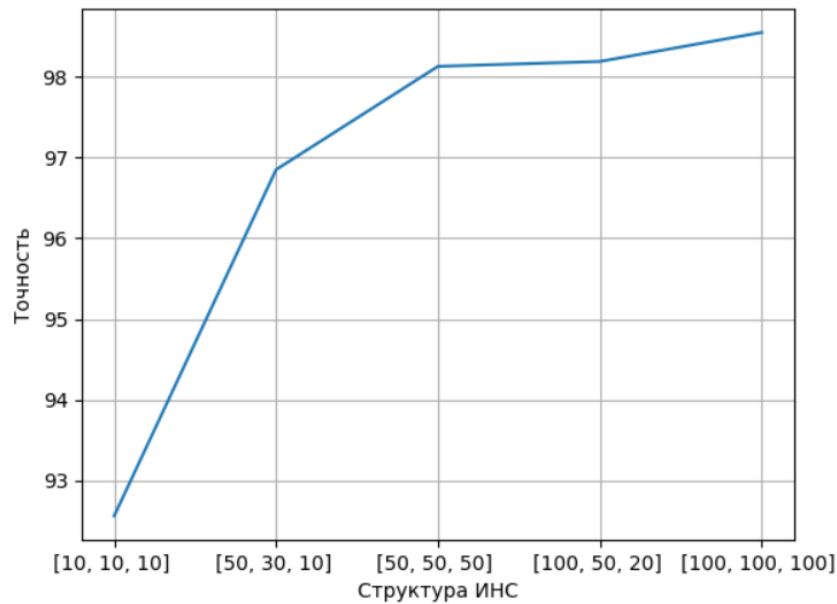


Рис. 4. Точность прогноза ИНС с тремя скрытыми слоями

По таблице и графикам видно, что по мере увеличения числа нейронов в слоях точность прогноза растет, но растет с замедлением. Время, требуемое на обучение ИНС, также увеличивается с увеличением размерности, но также нелинейно. Это связано с особенностями библиотеки NumPy (используемой в библиотеке Scikit-learn), которая использует векторные и матричные операции для ускорения вычислений [7].

### Оценка результатов

Хотя точность прогноза и растёт с увеличением размеров ИНС, после определенного предела прирост точности незначителен. Например, если сравнить испытания 18 и 19, то видно, что в данном случае увеличение количества нейронов в 1,5 раза дало прирост точности всего в 0,11%, аналогичная ситуация наблюдается для остальных нейросетей большого размера.

Также увеличение количества скрытых слоев не всегда ведет к сколько-нибудь заметному улучшению точности прогноза. Например, сеть с одним скрытым слоем в 200 нейронов дает точность всего на 0.1% меньшую, чем сеть с двумя слоями в 200 и 50 нейронов. Еще более показательное сравнение испытаний 15 и 28: сеть с двумя слоями по 100 нейронов дает точность на 0.02% большую чем сеть с тремя слоями по 100 нейронов! Отсюда следует вывод, что в зависимости от поставленной задачи на определенном этапе дальнейшее усложнение нейросети неоправданно в силу того, что получаемый прирост эффективности слишком мал по сравнению с увеличением временных затрат на вычисления: в рассматриваемой задаче даже относительно большие конфигурации ИНС требуют лишь несколько секунд на обучение, но в некоторых случаях размер обучающей выборки и количество нейронов может измеряться миллионами – время, требуемое на обучение нейросети в таком случае становится критически важным. По-видимому, в контексте данной задачи структура сети с двумя скрытыми слоями является наиболее подходящей.

Тем не менее, в целом, прослеживается тенденция к увеличению точности прогноза нейросети по мере увеличения ее размеров. В связи с этим встает вопрос о потенциальном переобучении нейросети. Считается, что в результате переобучения точность результатов растет на обучающей выборке, но после определенного этапа начинает падать на тестовой выборке (примерах, которые не использовались в обучении). В данном случае точность различных нейросетей оценивалась именно на тестовой выборке, поэтому проблема переобучения не должна была повлиять на результат. Можно предположить, что выборка из 200 тестовых примеров недостаточно велика и не позволяет



обнаружить неспособность нейросети к обобщению, вызванную переобучением. Однако в результате увеличения тестовой выборки в два раза (и соответствующего уменьшения обучающей выборки на 200 примеров) средняя точность прогноза упала всего на 0,7%, что вполне оправданно с учетом того, что количество материала для обучения нейросети стало меньше, а количество неизвестных ей примеров, используемых для тестирования, стало больше.

На основании этих наблюдений можно сделать вывод о том, что в рассматриваемой задаче эффект переобучения если и присутствовал в больших конфигурациях ИНС, то был незначителен и заметного негативного эффекта не оказал. Это хорошо согласуется с выводами статьи [3], в которой показано, что нейронные сети, обучаемые методом обратного распространения ошибки, аппроксимируют сложные функции намного лучше, чем другие методы, при этом даже при значительном увеличении размеров сети не наблюдается ухудшения качества, вызванного переобучением. Примечательно, что в этой статье также изучалась работа нейросетей, в обучении которых использовался метод сопряженных градиентов, и в этом случае переобучение проявлялось в полной мере. По-видимому, это в т.ч. специфика метода обратного распространения ошибки – обученные им нейросети даже при достаточно большом размере сохраняют способность к обобщению и не подвержены переобучению.

В статье [8] также показано, что малые веса нейронных связей намного важнее для решения проблемы переобучения, чем сам размер сети. В связи с этим использование регуляризации при обучении нейросети становится критически важным. Как было указано ранее, в проведенных экспериментах регуляризация применялась. Тот факт, что эффекты переобучения не проявились, свидетельствует в пользу озвученной точки зрения: регуляризация весов помогает избежать переобучения даже для сетей большого размера.

Можно сделать вывод, что нейросетям при использовании регуляризации и корректного алгоритма обучения свойственно избегать переобучения, в отличие от классических моделей типа регрессии. Также результаты, которые дают нейронные сети, во многом превосходят результаты, получаемые классическими методами, как, например, показано в [9]. И если в статье [4] показано, что нейронные сети большого размера хорошо справляются с задачами классификации, а в статье [3] – с задачами интерполяции, в данной статье нейронные сети показали высокую точность в задаче экстраполяции, без проявления эффектов переобучения, что говорит о том, что применение ИНС для прогнозирования уместно по крайней мере в некоторых случаях.

### **Заключение**

По результатам экспериментов видно, что увеличение размеров нейронной сети в целом улучшает точность прогноза. Однако на определенном этапе дальнейшее увеличение может стать нецелесообразным, т.к. прирост эффективности незначителен в сравнении с увеличением временных затрат. Эффектов переобучения не выявлено даже для сетей большого размера. По-видимому, использование корректного метода обучения и регуляризации весов помогает избежать переобучение.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс, 2-е издание / Хайкин С. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. Xue Ying, An Overview of Overfitting and its Solutions / Xue Ying // Journal of Physics: Conference Series. – 2019.
3. *Lawrence S.* Overfitting and Neural Networks: Conjugate Gradient and Backpropagation / Lawrence S. // International Joint Conference on Neural Networks. – 2000. – pp. 114–119
4. *Sartori M.A.* A simple method to derive bounds on the size and to train multilayer neural networks



/ Sartori M.A., Antsaklis P.J. // IEEE Transactions on Neural Networks. – 1991. – Vol. 2. – P. 467 – 471.

5. *Kingma D.P.* Adam: A Method for Stochastic Optimization / Kingma D.P., Jimmy Ba // International Conference on Learning Representations. – 2015.
6. Документация библиотеки Scikit-learn [Электронный ресурс] – URL: <https://bit.ly/2S22vXq> (дата обращения: 14.05.2021).
7. Документация библиотеки NumPy [Электронный ресурс] – URL: <https://bit.ly/2SSrIt3> (дата обращения: 14.05.2021).
8. *Bartlett P.L.* For valid generalization, the size of the weights is more important than the size of the network / Bartlett P.L. // Conference on Neural Information Processing Systems. – 1996. – p. 134-140
9. *Menhazul A.* Comparative Study of Artificial Neural Network Regression and Classical Regression / Menhazul A., Maniruzzaman, Shaykhul I., Benojir A., Mohammad A., Faisal A. // Proceedings in International Conference on Bioinformatics and Biostatistics for Agriculture, Health and Environment. – 2017.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Ермаков Булат Сергеевич** —

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

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

E-mail: [ermakovb@yandex.ru](mailto:ermakovb@yandex.ru)

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Ermakov Bulat Sergeevich** —

postgraduate

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

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

E-mail: [ermakovb@yandex.ru](mailto:ermakovb@yandex.ru)



## ЛОГИСТИКА

УДК 656.073

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-52-57

### АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Я. Я. Эглит<sup>1</sup>, К. Я. Эглите<sup>2</sup>, А. Р. Балыбин<sup>1</sup>, А. С. Грамацкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский институт экономики и управления

*В статье представлен алгоритм оценивания параметров нелинейных систем, что является одной из основных задач классического статистического анализа. Параметрическая оценка коэффициентов моделей, которые основаны на экспериментальных данных, является основой оценивания параметров.*

*Ключевые слова: алгоритм оценивания, нелинейные системы, статистический анализ, нелинейная функция, эксперимент, модели.*

#### **Для цитирования:**

*Эглит Я. Я., Эглите К. Я., Балыбин А. Р., Грамацкий А. С. Алгоритм оценивания параметров нелинейных систем // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5678. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 52-57. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-52-57.*

### ALGORITHM FOR ESTIMATING PARAMETERS OF THE NONLINEAR SYSTEM

Y. Y. Eglit<sup>1</sup>, K. Y. Eglite<sup>2</sup>, A. R. Balybin<sup>1</sup>, A. S. Gramatskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

<sup>2</sup>Saint-Petersburg Institute of economics and management

*The article presents an algorithm for estimating the parameters of nonlinear systems, which is one of the main tasks of classical statistical analysis. The parametric estimation of the coefficients of models that are based on experimental data is the basis. The basis for evaluating parameters.*

*Key words: estimation algorithm, nonlinear systems, statistical analysis, nonlinear function, experiment, models.*

#### **For citation:**

*Eglit Y. Y., Eglite K. Y., Balybin A. R., Gramatskiy A. S. Algorithm for estimating parameters of the nonlinear system// System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 52-57. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-52-57.*

#### **Введение**

Параметрическая оценка коэффициентов моделей, основанная на экспериментальных данных, представляется одной из основных задач классического статистического анализа. В ходе идентификации необходимо подбирать такие значения параметров, при которых обеспечивается наилучшее приближение расчётных данных к эксперименту. Если критерий качества предполагает собой линейную функцию отклонений аргументов модели от эксперимента и сумму абсолютных значений отклонений, то минимизация критерия приводит к решению задачи линейного программирования. Может потребоваться минимизировать сумму квадратов отклонений во время процесса моделирования, тогда необходимо решать задачу квадратного программирования. Оценка коэффициентов модели для переопределённой системы уравнений может быть произведена с помощью метода наилучших квадратов, либо в зависимости от системы ограничений его модификации и использования совместно с методом множителей Лагранжа.

Модели нелинейной регрессии способствуют значительному повышению точности «притирки», тем не менее, при этом процесс оценки параметров основывается на решении системы нелинейных уравнений, составляющих ограничения, к тому же содержат нелинейный критерий качества.

#### **Алгоритм оценивания**

Довольно часто в ходе распознавания динамических систем попадает нелинейная функция



вида

$$z(t) = v \cdot e^{\beta t} \quad (1)$$

где  $z(t)$  – выходная координата,  $t$  – время,  $v$  и  $\beta$  – постоянные коэффициенты, которые подлежат оценке по экспериментальным данным.

Для того, чтобы получить оценку  $v$  и  $\beta$  по измерениям  $z(t_i)$  в момент времени  $t_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) можно использовать  $p$ -норму:

$$\left| v e^{\beta t_i} - z(t_i) \right| = \min \quad (2)$$

В экономических системах требуется оценивать коэффициенты  $v$  и  $r$  функции

$$z(x) = \frac{v \cdot x}{r + x} \quad (3)$$

и, следовательно, минимизировать норму [1]:

$$\left| \frac{v \cdot x_i}{r + x_i} - z_i \right|_p = \min \quad (4)$$

Принимая  $p = 2$ , т.е., вводя эвклидову норму, в этом случае для зависимостей (2) и (4) нелинейную задачу оценивания можно подвести к линейной путём простых преобразований. В первом случае

$$\sum_{i=1}^n (\ln v + \beta t_i - \ln z(t_i))^2 = \min, \quad (5)$$

а во втором

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{r}{v} \frac{1}{x_i} + \frac{1}{v} - \frac{1}{z_i} \right)^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{r}{v} w_i + \frac{1}{v} - h_i \right)^2 = \min \quad (6)$$

где  $w_i = \frac{1}{x_i}$  и  $h_i = \frac{1}{z_i}$  – введённые новые переменные.

Всё же заметим, что преобразования (5) и (6) дают возможность получить минимумы суммы квадратов логарифмов остатков, а не самих остатков, что не гарантирует минимум нормы для (1) и (2).

Рассмотрим пример. Допустим, то, что коэффициенты экспоненциальной функции (1) обязаны оцениваться согласно экспериментальным данным

Таблица 1 – Экспериментальные данные

$t_i$	0	1	2
$z(t_i)$	1	2	6



Оценка с использованием метода наименьших квадратов функции [2]

$$\ln z(t_i) = \ln v + \beta t_i$$

приводит к следующему результату:  $v=0,93466$  и  $\beta=0,89588$ .

Применение нелинейной оценки с помощью предоставленного в этой работе алгоритма даёт возможность получить:  $v=0,78044$  и  $\beta=1,01742$ .

В первом случае эвклидова норма равна 0,24174, а во втором 0,07423.

В случае если есть возможность подвести нелинейную задачу к линейной, то процесс вычисления значительно упрощается. Но, следует помнить, то, что нелинейная оценка самой функции способна обеспечить лучший итог, что, связан с более сложными вычислениями.

Рассмотрим алгоритм оценки коэффициентов нелинейной регрессионной модели, который в свою очередь базируется на методе наименьших квадратов. Допустим, с помощью нелинейной функции

$$z = r \cdot t \cdot \exp(jt) \quad (7)$$

где  $r$  и  $j$  – постоянные коэффициенты,  $t$  – время, моделируется технологический процесс. В моменты времени  $t_i (i = 1, \dots, n)$  будут получены значения выхода  $z_i$ . Необходимо оценить параметры  $r$  и  $j$  по экспериментальным данным.

Пусть вектор  $d_i$  устанавливает разность между левой и правой частями уравнения (7) в моменты  $t_i$ . Для положительных  $d_i$  можно составить систему неравенств вида

$$\begin{aligned} z_i - r \cdot t_i \cdot \exp(j \cdot t_i) + a_i &\geq 0, i = 1, \dots, n, \\ -z_i - r \cdot t_i \cdot \exp(j \cdot t_i) + a_i &\geq 0, i = 1, \dots, n, \\ a_i &\geq 0, i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (8)$$

где  $n$  – число экспериментальных точек, большее числа оцениваемых параметров.

Введём критерий качества

$$w = \sum a_i^2 \quad (9)$$

В таком случае алгоритм оценки коэффициентов  $r$  и  $j$  заключается в минимизации (9) при соблюдении системы ограничений в форме неравенств (8). Это является задачей квадратичного программирования, для решения которой могут быть использованы вычислительные среды. А именно, в среде MatLAB можно воспользоваться функцией «constr», которая предназначена для минимизации нелинейных функций с различными ограничениями (в том числе – ограничениями-равенствами) [3].

Для расчётов согласно алгоритму (8) и (9) составим два файла: основной и файл-функцию.

```
% Основной файл.  
% Нелинейная регрессия.  
% Определение коэффициентов 'r' и 'j' функции  
% z=r*t*exp(j*t)  
options(13)=8;
```



```

x0=ones(6,1).*0.1;
vlb=[];
vub=[];
x=constr('sahop94',x0,options,vlb,vub);
[x(1) x(2)]'
% Основной файл.
% Нелинейная регрессия.
% Определение параметров нелинейной модели, приведённой
% в основном файле.
function [h,m]=sahop94(x);
% Решение задачи:
h=[x(3) x(4) x(5) x(6)]* [x(3) x(4) x(5) x(6)]';
m(1)=-176.1720+x(1)*1.0*exp(x(2)*1.0)+x(3);
m(2)=-248.2927+x(1)*2.0*exp(x(2)*2.0)+x(4);
m(3)=-262.4533+x(1)*3.0*exp(x(2)*3.0)+x(5);
m(4)=-246.5970+x(1)*4.0*exp(x(2)*4.0)+x(6);
m(5)=176.1720-x(1)*1.0*exp(x(2)*1.0)+x(3);
m(6)=248.2927-x(1)*2.0*exp(x(2)*2.0)+x(4);
m(7)=262.4533-x(1)*3.0*exp(x(2)*3.0)+x(5);
m(8)=246.5970-x(1)*4.0*exp(x(2)*4.0)+x(6);

```

В основном файле имеется опция «options(13)=k», благодаря которой файле-функции первые k ограничений задаются в виде ограничений-равенств. В соответствии с алгоритмом (8), (9), для решаемой задачи k=8.

Оценку коэффициентов осуществляется согласно измерениям координат в четырёх кочках (n=4), приведённым в таблице:

Таблица 2 – Измерения координат

$t_i$	1	2	3	4
$z_i$	176.1720	248.2927	262.4533	246.5970

Поэтому нулевое приближение зададим вектором, состоящим из шести элементов:  $x(1)=i$ ,  $x(2)=j$ ,  $x(3)=a_1$ ,  $x(4)=a_2$ ,  $x(5)=a_3$ ,  $x(6)=a_4$ . Предположим, итерационный процесс начинается с режима

$$x_0=[x(1) \ x(2) \ \dots \ x(6)]' = [0.1 \ 0.1 \ \dots \ 0.1]' = \text{ones}(6,1).*0.1,$$

где «'» является знаком транспонирования вектора. Мы не будем ограничивать процедуру вычислений и по этой причине vlb=[] и vub=[] зададим “пустыми” векторами. В основном файле при записи “constr” находится файл-функция “sahop94”, которая состоит из критерия качества (8) и ограничений-равенств вида (8). Обращение к этой функции осуществляется из основного файла, в соответствии с процедурой минимизации.

Файл-функция состоит из определения функции, где h– критерий качества и m– система ограничений, соответствующая неравенствам (8). В них введены данные измерений из вышеприведённой таблицы.

Вычисления, которые были произведены с помощью приведённых файлов, дали возможность получить оценки элементов вектора x:

$$x = [250.0000 \ -0.3500 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$



Коэффициенты  $r$  и  $s$  модели совпадают с оценочными значениями:

$$R = 250; j = -0.350$$

### **Заключение**

Был разработан алгоритм проверки качества модели посредством нахождения числа обусловленности матрицы. Для исполнения алгоритма оценивания параметров нелинейных систем применяется среда MatLAB с применением функции «constr». В случае наличия в измерениях шума с нормальным распределением оценка с помощью предлагаемого алгоритма даёт возможность получить минимум эвклидовой нормы.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Эглите К.Я.* Оптимизация модернизации и реконструкции объектов перегрузочного комплекса // Методы прикладной математики в транспортных системах: вып.3.-СПб.2014.- с. 183-188.
2. *Эглит Я. Я., Эглите К.Я.* Методы принятия оптимальных управленческих решений. Новороссийск, Эксплуатация морского транспорта: №4(97), 2021, 0,4 с.
3. *Arviel M.* Geometric Programming Issue. Part 2. // Journal of Optimization Theory and Applications. -2014. -vol. 26. -№ 2.-p.76-81.

### **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

#### **Грамацкий Александр Сергеевич –**

бакалавр 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  
E-mail: aleksandr502gramatskiy@gmail.com

### **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

**Gramatskiy Alexander Sergeevich** –  
bachelor of the department «Transportation Systems Management»  
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping  
5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, Russia, 198035  
E-mail: [aleksandr502gramatskiy@gmail.com](mailto:aleksandr502gramatskiy@gmail.com)



УДК 656.7.025

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-58-70

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОЗОК ОПАСНЫХ ГРУЗОВ НА КАМЧАТКУ ВОЗДУШНЫМ ТРАНСПОРТОМ

**А. А. Россадко, С. В. Уголков**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье рассматриваются вопросы организации перевозки опасных грузов на Камчатку воздушным транспортом. Произведён анализ авиатранспортной инфраструктуры и воздушной маршрутной сети Камчатского края. Детально разобраны элементы материальной и технической базы Петропавловск-Камчатского авиационного грузового терминала. Произведён расчёт потребного количества контейнеров и средств механизации для обработки опасных грузов. Определены потребные размеры контейнерной площадки и значения коэффициента лётной погоды для эксплуатируемых воздушных судов на аэродроме Елизово.*

*Ключевые слова: опасный груз, воздушный транспорт, организация перевозки, авиационный контейнер, летный ресурс, средства механизации, метеорологический минимум.*

### **Для цитирования:**

*Россадко А. А., Уголков С. В. Особенности перевозок опасных грузов на Камчатку воздушным транспортом // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 58-70. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-58-70.*

## FEATURES OF TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS TO KAMCHATKA BY AIR

**A. A. Rossadko, S. V. Ugolkov**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The article deals with the organization of transportation of dangerous goods to Kamchatka by air. The analysis of the air transport infrastructure and air route network of the Kamchatka territory is made. The elements of the material and technical base of the Petropavlovsk-Kamchatsky air cargo terminal were analyzed in detail. The calculation of the required number of containers and means of mechanization for handling dangerous goods was made. The required dimensions of the container platform and the values of the flight weather coefficient for operated aircraft at the Yelizovo airfield are determined.*

*Keywords: dangerous cargo, air transport, organization of transportation, aviation container, flight resource, means of mechanization, meteorological minimum.*

### **For citation:**

*Rossadko A. A., Ugolkov S. V. Features of transportation of dangerous goods to Kamchatka by air // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 58-70. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-58-70.*

### **Введение**

Удалённые районы Российской Федерации традиционно являются основными поставщиками природных ресурсов. Среди них – богатые углеводородами Северные регионы, уникальные месторождения алмазов в республике Саха (Якутия), рудные и россыпные месторождения золота и платины в Магаданской области. Полуостров Камчатка – крупнейший поставщик морепродуктов и рыбы на Дальнем Востоке. Кроме того, среди природных ресурсов в Камчатском крае разрабатываются месторождения золота, платины, эксплуатируются горнообогатительные предприятия медно-никелевых и ртутных руд, титано-магнетитовых песков. Ведётся разведка нефтегазоносных шельфовых месторождений, осваиваются разрезы каменных и бурых углей. Регион обладает богатыми запасами древесины.

Являясь источником сырья для перерабатывающей промышленности страны, Камчатский край нуждается в поставках оборудования, строительных материалов, продуктов нефтепереработки, продовольствия и целого спектра бытовой продукции.

В настоящее время по транспортной доступности Камчатка фактически является островом.



Расстояние от порта Петропавловска-Камчатского до ближайшего морского порта Владивосток — 2500 км; до ближайшего авиапорта Хабаровск — 1700 км. Связь с материковой частью России и с зарубежными странами осуществляются только воздушным и морским путём. На Камчатке полностью отсутствует железнодорожный транспорт.

Авиатранспорт играет решающую роль в жизни Камчатки, так как основные пассажирские и круглогодичные грузовые перевозки осуществляются только самолетами.

### Авиатранспортная инфраструктура Камчатки

Авиатранспортная система Камчатского края состоит из аэропорта федерального значения «Петропавловск-Камчатский» и сети аэропортов местных воздушных линий.

Аэропорт «Елизово» — международный аэропорт, который расположен в 29 км от Петропавловска-Камчатского. «Елизово» — главный порт прибытия на Камчатку. Он связывает полуостров с такими российскими городами как Москва, Санкт-Петербург, Самара, Новосибирск, Магадан, Красноярск, Владивосток, Хабаровск, Иркутск. Также из аэропорта выполняются международные чартерные рейсы в Бангкок (Китай), Нячанг и Пхукет (Корея), сезонные регулярные рейсы в Анкоридж (США).

Аэропорт сертифицирован по метеоминимуму I категории ИКАО и способен принимать самолёты и вертолёты любых типов без ограничений по грузоподъёмности вплоть до полностью загруженного Боинга 747. На территории аэродрома расположено 24 места для стоянки самолётов, 8 из которых пригодны для стоянки сверхбольших авиалайнеров (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1 – Взлётно-посадочные полосы (ВПЦ)

Номер	Возвышение ВПП	Истинный курс	Размеры	Покрытие
ИВПЦ 16Л/34П	40 м. (131 фт.)	337.9°	3398x60 м (11148x197 фт.)	армобетон
ИВПЦ 16П/34Л	35 м. (114 фт.)	157.9°	3398x60 м (11148x197 фт.)	армобетон
ИВПЦ 12/30	.	.	224x15 м (736x50 фт.)	асфальт

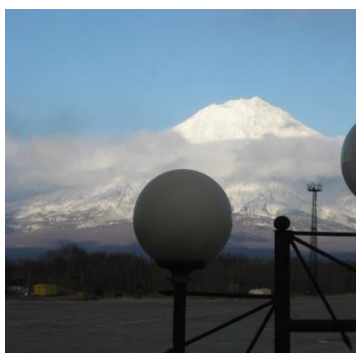


Рис. 1. Аэропорт Петропавловск-Камчатский (Елизово)

Аэропортовая сеть Камчатского края включает 13 аэропортов, 15 авиаплощадок и 2 вертодрома. В настоящее время на территории края действует одно государственное авиапредприятие, имеющее лицензию на осуществление регулярных пассажирских перевозок — «Федеральное Государственное Унитарное Петропавловск-Камчатское авиационное предприятие» [1, 2].

Федеральное казенное предприятие «Аэропорты Камчатки» было создано 15 ноября 2010 года в результате поэтапной реорганизации ФГУ Петропавловск-Камчатского авиационного предприятия в форме присоединения к нему ФГУП «Корякское авиапредприятие». В состав



предприятия вошли 11 аэропортов местных воздушных линий: Тилички, Манилы, Пахачи, Оссора, Палана, Тигиль, Мильково, Усть–Камчатск, Никольское, Соболево, Озерная и 7 вертолетных посадочных площадок: Каменское, Апука, Ачайваям, Хаилино, Слаутное, Средние Пахачи, Таловка (рис. 2).

На территории Камчатского края эксплуатируется 7 типов воздушных судов (далее – ВС), из них 4 типа самолетов (Як-40, Л-410, Ан-28, Ан-26) и 3 типа вертолетов (Ми-8, Ми-8МТВ, Ми-2). Общий парк насчитывает 43 единицы ВС. Самолетный парк составляет 11 единиц, вертолетный парк – 32 единицы [2, 3, 4].

В Камчатском крае работают негосударственные вертолетные компании: ООО «Авиакомпания «Камчатские авиалинии», ООО «АК «Витязь-аэро», ООО «Сокол», ООО «Аэропорт Халактырка. Маршрутная сеть Камчатских авиалиний и Сахалинские авиатрассы представлены на рисунке 2 [2, 3, 4].

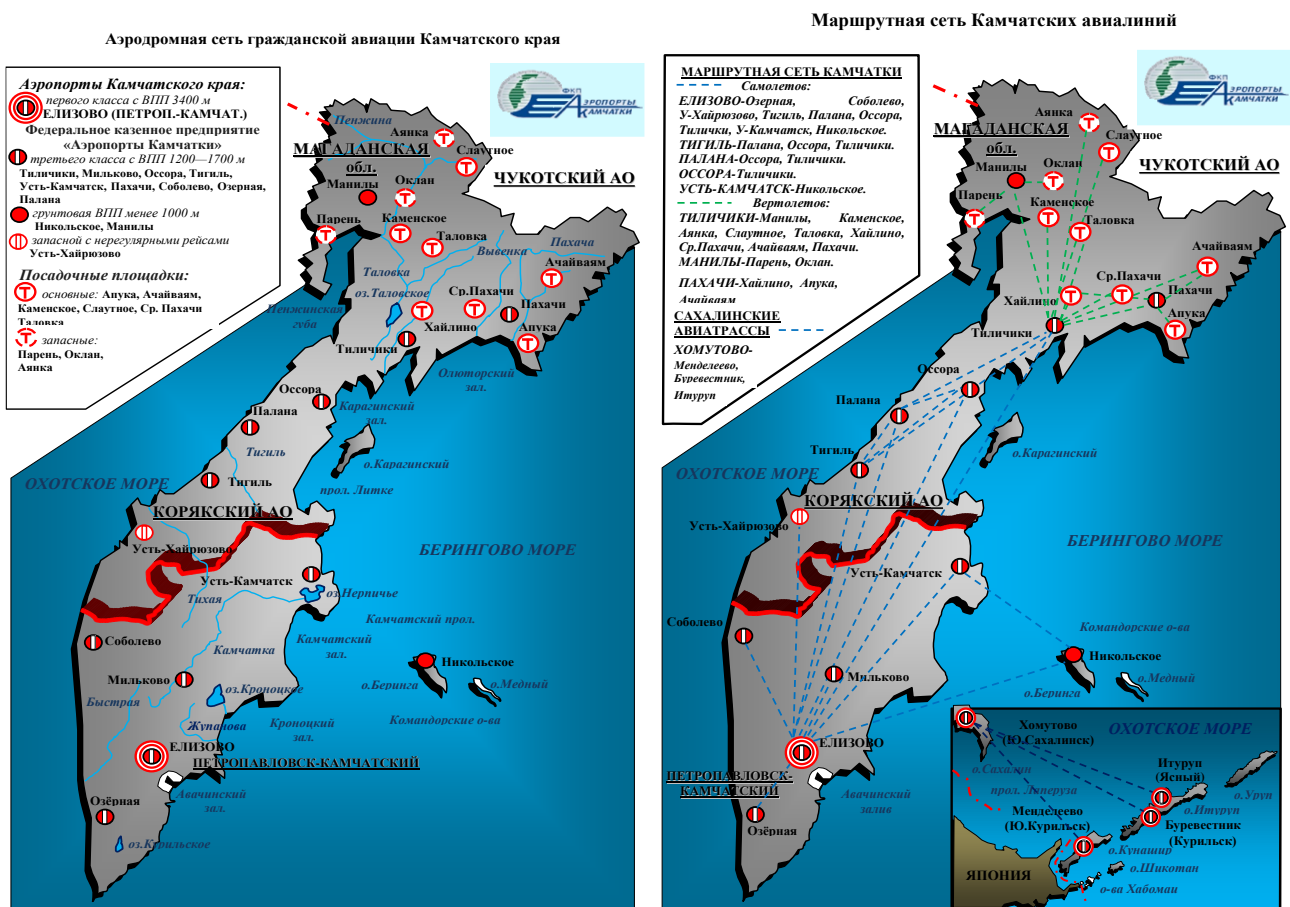


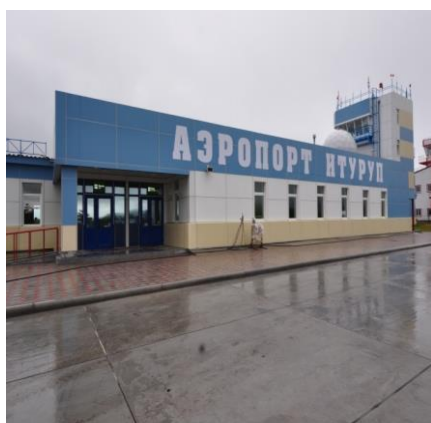
Рис. 2. Аэродромная и маршрутная сети Камчатского края

К югу от Камчатки до острова Хоккайдо расположена гряда Курильских островов протяженностью около 1200 км. Общая площадь — 10,5 тыс. км<sup>2</sup>. Острова образуют две параллельные гряды: Большую и Малую Курильскую. Включают 56 островов. Согласно административно-территориальному устройству России острова входят в состав Курильского городского округа Сахалинской области.

В связи с большой протяженностью Курильской гряды снабжение островов происходит следующим образом. Из оставшихся после Второй мировой войны 9 военных японских аэродромов на Курилах эксплуатируются только 2 в южной группе островов: Менделеево (Южно Курильск) на о. Кунашир и Буревестник (Курильск) на о. Итуруп. В связи с высокими требованиями к



метеоминимуму аэродрома Буревестник на о. Итуруп в 2014 году открыт новый аэропорт Итуруп (Ясный). Данные аэродромы входят в состав Федерального Казенного предприятия Сахалинской области «Аэропорты Курильских островов» и осуществляют воздушное сообщение южных островов архипелага – Уруп, Итуруп, Кунашир, Шикотан и группа Хабомай с международным аэропортом Хомутово (Южно Сахалинск) – базовым для российской авиакомпании «Сахалинские авиатрассы» (рис. 3) [5, 6, 7]. Аэродромы на островах северной группы Парамушире, Шумшу, Матуа полуразрушены и не подлежат ремонту и эксплуатации.



Аэропорт Итуруп Ясный



Заброшенный аэродром на о. Матуа



Аэропорт Хомутово (Южно Сахалинск)

Рис. 3. Аэродромы Курильских островов

Основными грузоперевозками являются:

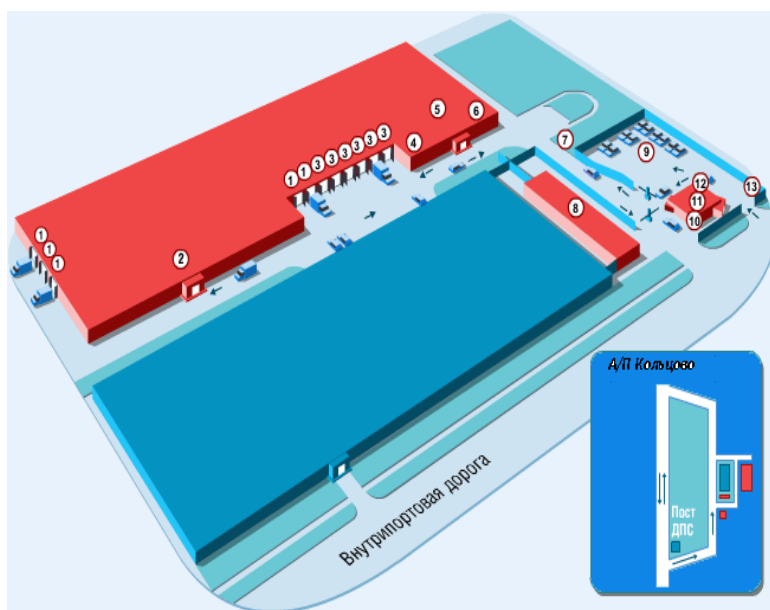
- авиаперевозки негабаритных и тяжеловесных грузов (стройматериалов);
- авиаперевозки грузов на особых условиях доставки (скоропортящиеся и опасные грузы, медикаменты, грузы требующие экспресс доставки);
- организация транзитных грузов и мультимодальных перевозок;
- организация отправок грузовых чартерных рейсов.

#### **Анализ материальной и технической базы ООО "Петропавловск-Камчатский авиационный грузовой терминал"**

ООО «Петропавловск-Камчатский авиационный грузовой терминал» (ООО «ПКАГТ») аэропорта Елизово относится к средней группе – с грузооборотом от 70 до 400 т/сут создаются в аэропортах II и III классов. Терминал обеспечивает обслуживание в аэропорту «Петропавловск-Камчатский» почты и груза при внутренних и международных воздушных перевозках россыпью и в средствах пакетирования.

Грузовой терминал обеспечивает обслуживания всех типов ВС, допущенных к приему в аэропорту Петропавловск-Камчатский. Производственные площади составляют 3380 м<sup>2</sup>. Площадь складских помещений 1924 м<sup>2</sup>. Вместимость грузового терминала до 350 т. Пропускная способность 175 т/сутки.

В состав грузового комплекса аэропорта Елизово входят: стеллажный и контейнерный склады; административно-служебные помещения; грузовой перрон; грузовой двор; склад радиоактивных грузов; склад опасных грузов; крытые площадки и ramпы для тяжеловесных и длинномерных грузов; насосная станция пожаротушения и оборотного водоснабжения; трансформаторная подстанция; очистные сооружения; контрольно-пропускной пункт; помещения для технического обслуживания средств механизации и подзарядки аккумуляторов для двигателей. Главными элементами грузового комплекса являются грузовой склад, грузовой двор и грузовой перрон (рис. 4).



1. Ворота №16, №17 и №18: Прием грузов
2. Офисные помещения
3. Ворота №1 и №2: (Прием-выдача международных грузов)
4. Кассы
5. Таможенное оформление
6. Ветконтроль
7. Место стоянки тележек
8. Стоянка средств механизации
9. Контейнерная площадка
10. Обращение к Агенту грузового комплекса для получения документов и пропуска
11. Бюро пропусков
12. Оформление Заявки грузоотправителя
13. КПП

Рис. 4. Схема грузового терминала ООО «ПКАГТ»

Служба организации почтово-грузовых перевозок (СОПГП) в своем штате имеет средства механизации, возможности и предназначение которых приведены в таблице 2 [3, 8].

Таблица 2 – Виды и назначение средств механизации, используемых в грузовом терминале аэропорта Елизово

№ п/п	Наименование средств механизации	Грузоподъемность, кг.	Предназначение
			Для взвешивания грузов
1	Весоизмерительное средство (4 ед.)	1500-30000	Для взвешивания грузов
2	Аккумуляторный погрузчик ЭП-103; (8 ед.) ЭП-106 (6 ед.)	1000 2000	Механизация погрузочно-разгрузочных и транспортных работ
3	Автопогрузчики DEG-30 (5 ед.) DEG-20 (5 ед.)	3000 2000	Механизация погрузочно-разгрузочных и транспортных работ с тяжеловесными грузами.
4	Подъемно-комплектовочный стол ПКС-15 (2 ед.)	6000	Обеспечить удобный уровень при погрузке (выгрузке) грузов во время комплектования контейнеров (поддонов), а также при погрузке контейнеров (поддонов) на транспортные средства.
5	Штабелер контейнерный ШК-10 (2 ед.)	12500	Передача контейнеров (поддонов) в/из ячейки стеллажей.
6	Рампа грузовая РГ-50 (1 ед.)	50000	Прием, кратковременное хранение и передача контейнеров (поддонов) на транспортные средства.
7	Автомобиль с подъемным кузовом АПК-10 (8 ед.) АПК-К (3 ед.)	5100 4800	Транспортировка и погрузо-выгрузочные работы.
8	Автопоезд-контейнеровоз АК-6 (3 ед.)	12500	Выполнение транспортных и погрузочно-разгрузочных операций на перронах аэропортов и грузовых складах с грузовыми авиационными



			контейнерами, с пакетами, сформированными на грузовых авиационных поддонах
9	Тележка контейнерная ТК-2А(12 ед.)	2000	Транспортирует и загружает контейнеры типа АК-1.5 и АК-0.75 к (от) самолета.
10	Кран мостовой МК-15 (1 ед.)	15000	Подъем и перемещение грузов
11	Роликовые дорожки (12 ед.)	12	Механизация перемещения контейнеров и поддонов

Данными средствами механизации грузовой комплекс способен обеспечить переработку до 175 тонн в сутки.

### Особенности перевозок опасных грузов воздушным транспортом

Таким образом, производственные возможности грузового терминала аэропорта Елизово таковы, что способны обеспечить перевозку на соответствующих типах воздушных судов любой груз. В том числе опасные грузы следующих классов и категорий: 1.4S; 1.6; 2.1; 2.2; 3; 4.1; 5.1; 5.2; 6; 7 (кроме ДЯМ) 8 и 9; тяжеловесного, негабаритного и длинномерного груза; скоропортящегося, специального груза и груза, следующего под таможенным контролем [2].

Опасные грузы доставляются в штучной таре, укрупненными грузовыми единицами и в контейнерах.

### Расчет необходимого количества контейнеров для выполнения перевозки

Использование контейнеров при перевозке опасных грузов воздушным транспортом является одним из основных мероприятий по ускорению погрузо-разгрузочных операции на 75%, сокращению времени простоя самолетов на земле; они упрощают прием и доставку и грузов, способствуют снижению себестоимости и облегчению труда грузчиков.

В соответствии с заданным объемом перевозки на авиалинии Санкт-Петербург – Петропавловск-Камчатский осуществляется перевозка 16000 тонн опасных грузов в авиационных контейнерах [8]. Перевозка осуществляется самолётами ИЛ-76 и Ан-12. Для перевозки используются универсальные авиационные контейнеры УАК-5 и УАК-10 [9, 10, 11].

Расчёт определения необходимого количества контейнеров для выполнения заданного объема перевозок состоит из двух этапов.

На первом этапе определяется время оборота контейнеров, на втором этапе определяется необходимая потребность в контейнерах, исходя из заданного объема перевозок, имеющих в наличии типов контейнеров и времени их оборота.

Время оборота контейнеров определяется по формуле:

$$T_{об}^к = \frac{\frac{2L_{cp}}{V_{cp}} + t_1 + t_2}{24} \quad (1)$$

где  $L_{cp}$  – среднее расстояние доставки контейнеров, км;  $V_{cp}$  – средняя скорость доставки контейнеров, км/ч;  $t_1$  – время нахождения контейнеров в аэропорту назначения, ч;  $t_2$  – время нахождения контейнеров в аэропорту отправления, ч.

Нормативы времени стоянок грузовых самолетов под погрузо-разгрузочными операциями в базовых, конечных аэропортах строго регламентированы. Они приведены в таблице 3.



Таблица 3 – Нормативы времени стоянок самолетов под грузовыми операциями в аэропортах

Тип воздушного судна	Время погрузки и выгрузки, ч.	Время стоянки, ч
Ил-76 (с контейнерами и поддонами)	4	3
Ан-12 (с контейнерами и поддонами)	2	2

Таким образом, принимается, что время нахождения контейнеров в аэропорту отправления и назначения будет равно для Ил-76 – 10 часов, для Ан-12 – 6 часов. Произведя расчёт по формуле (1) получим время оборота контейнеров при перевозке самолетами Ил-76 – 0,52 сут.; при перевозке самолетами Ан-12 – 0,39 соответственно.

Исходя из условия, что 40% опасных грузов перевозится транспортными самолетами Ан-12, а 60% опасных грузов – Ил-76, при этом на самолётах Ан-12 перевозятся контейнеры типоразмера УАК-5, а на Ил-76 – УАК-10, объёмы опасных грузов распределяются следующим образом: в УАК-5 –  $16000 \cdot 0,4 = 6400$  тонн; в УАК-10 –  $16000 \cdot 0,6 = 9600$  тонн.

Потребное количество контейнеров в сутки определяется по формуле:

$$N_{\text{сут}}^K = \frac{Q^{\text{сут}}}{G_K \cdot K}, \text{ контейнеров} \quad (2)$$

где:  $Q^{\text{сут}}$  – среднесуточный объем перевозок, тонн;  $G_K$  – грузоподъемность контейнера, тонн;  $K$  – коэффициент использования грузоподъемности.

Среднесуточный объем перевозок рассчитывается по формуле:

$$Q^{\text{сут}} = \frac{Q^{\text{план}}}{T^{\text{план}}}, \text{ тонн}, \quad (3)$$

где:  $T^{\text{план}}$  – планируемое время перевозки, сут.

Расчёт потребности в контейнерах УАК-5 и УАК-10, произведенный по формулам (2) и (3) показывает УАК-5 необходимо 320 единиц, УАК-10 соответственно 480 единиц.

Потребное количество контейнеров с учетом времени их оборота определяется по формуле:

$$N_{\text{пот}}^K = N_{\text{сут}}^K \cdot T_{\text{об}}, \text{ контейнеров.} \quad (4)$$

Таким образом, расчетом по формуле (4) установлено: для выполнения перевозки 16000 тонн опасных грузов потребуется задействовать 166 контейнеров типоразмера УАК-5 и 94 контейнера типоразмера УАК-10.

### Определение размеров контейнерной площадки

При осуществлении перевозок контейнеры УАК-5 перерабатываются на грузовом комплексе аэропорта, а УАК-10 обрабатываются на складах грузоотправителей и грузополучателей. Поэтому расчёт площади контейнерной площадки производится только для контейнеров УАК-5.

При определении размеров контейнерной площадки расчёту подлежат следующие параметры:

- рабочая площадь, представляющая сумму площадей, непосредственно занятых под контейнерами;
- площадь, занятая проездами и проходами внутри контейнерной площадки.

Для обеспечения перевозок опасных грузов в составе грузового комплекса необходимо иметь



контейнерную площадку ёмкостью, равной:

$$E_{\text{кп}} = N_{\text{сут}} \cdot K_{\text{н}} \cdot T_{\text{хр}}^{\text{ср}}, \text{ контейнеров}, \quad (5)$$

где:  $E_{\text{кп}}$  – ёмкость контейнерной площадки, контейнеров;  $K_{\text{н}}$  – коэффициент неравномерности поступления контейнеров на контейнерную площадку, равен 1,05;  $T_{\text{хр}}^{\text{ср}}$  – среднее время хранения контейнеров на контейнерной площадке, равен 0,91 сут.

По формуле (5) следует, что ёмкость контейнерной площадки составляет 306 контейнеров.

Контейнеры устанавливаются на контейнерной площадке в два яруса. Поэтому рабочая площадь контейнерной площадки  $F_{\text{раб}}$  будет определяться:

$$F_{\text{раб}} = 0,5 \cdot E_{\text{кп}} \cdot S, \text{ м}^2, \quad (6)$$

где:  $S$  – площадь, занимаемая одним контейнером УАК-5, м<sup>2</sup>.

Длина УАК-5 составляет 2,991 м; ширина – 2,438 м. Тогда его площадь составляет 7,292 м<sup>2</sup>

По формуле (6) рабочая площадь контейнерной площадки  $F_{\text{раб}}$  будет равна 1115 м<sup>2</sup>.

Расчёт площади, занимаемой проходами и проездами ( $F_{\text{пр}}$ ), производится по формуле:

$$F_{\text{пр}} = F_{\text{раб}} \cdot (K_{\text{пр}} - 1), \text{ м}^2 \quad (7)$$

где:  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент, учитывающий потребность в дополнительной площади внутри площадки, занятой проездами и проходами, равен 1,5.

Тогда расчётом по формуле (7) получаем: площадь, занимаемая проходами и проездами, составляет 557 м<sup>2</sup>.

Таким образом, площадь, которую занимают контейнеры, необходимые для перевозки опасных грузов, составляет 1672 м<sup>2</sup>.

### **Расчёт потребной численности средств механизации для обработки контейнеров**

При обработке грузов, отправляемых в контейнерах, на грузовом складе применяются мостовой кран (МК-15) и подъемно-комплектовочные столы (ПКС-5). Их потребное количество рассчитывалось по рекомендованным зависимостям, изложенным в источниках [9, 10, 11]. Основные показатели расчётов свидетельствуют о следующем.

1. Производительность мостового крана МК-15 равна 5,54 конт /час.
2. Потребное количество мостовых кранов МК-15 равна 1 единице.

Расчёт потребности ПКС-5 определяется исходя из времени, затрачиваемого на комплектование грузов в контейнеры и времени, затрачиваемого на погрузку контейнеров в транспортные средства.

1. Производительность ПКС-5 будет равна 0,75 конт /час.
2. При рабочем времени механизмов 12 часов потребное количество подъемно-комплектовочных столов 2 единицы.

Основным средством при перевозке контейнеров являются контейнеровоз АК-6, которыми осуществляется подвоз контейнеров к воздушным судам для загрузки их на борт воздушного судна и от воздушного судна к грузовому двору.

1. Число рабочих рейсов машины составит 144 рейса.
2. Производительность автомобиля АК-6 равна 288 конт/сут.



3. Потребное количество АК-6 равно 6 единиц.

Таким образом, необходимо дополнительно приобрести 3 единицы АК-6 или вместо них также можно использовать автомобили с подъемным кузовом АПК-10, число которых в Службе организации почтово-грузовых перевозок 8 единиц, АПК-К-3 единицы.

В настоящее время основным средством механизации внутриаэродромной транспортировки грузов и погрузо-разгрузочных работ у самолетов являются автомобили с подъемным кузовом. Для транспортировки груза к борту воздушного судна необходимо 6 автомобилей с подъемным кузовом, а для транспортировки внутри склада потребуется 2 машины. Таким образом, при максимальном параллельном производстве работ АПК, их общее число удовлетворяет потребностям погрузочно-выгрузочных работ.

### Метеорологические минимумы применения самолетов

Возможность полётов и функциональное применение авиации в различных метеорологических условиях также являются одним из основополагающих факторов для прогнозирования лётного ресурса и эффективности применения самолётов гражданской авиации.

Метеорологическая обстановка, характеризующаяся наличием опасных погодных явлений, полностью исключает эксплуатацию авиационной техники. Согласно [12, 14] на территории Камчатского края опасными явлениями погоды являются: гроза, кучево-дождевая и мощно-дождевая облачность, туман 0-2 балла (в последующем туман), мгла. Кроме того, возможность эксплуатации различных типов летательных аппаратов определяется установленными для них метеорологическими минимумами для взлета и посадки. Причём требования, предъявляемые к погодным условиям, для посадки самолётов имеют более жесткие показатели. Материалы источников [13] позволяют определить метеорологические минимумы посадки для самолётов, перевозящих опасные грузы на Камчатку. Эти данные представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Метеорологические минимумы, установленные для посадки самолетов

Типы вертолетов	Минимум для посадки		
	ВНГО, м	МДВ, м	Скорость ветра у земли, м/с
Ил-76	100	400	15
Ан-12	100	400	15

Анализ этих данных показывает, что доминирующими значениями метеоэлементов, при которых прекращаются полёты основных типов самолётов Камчатских авиалиний являются высота нижней границы облаков (ВНГО) менее 100 м, метеорологическая дальность видимости (МДВ) менее 400 м и скорость ветра у земли 15 м/с и более.

Среднестатистические данные о повторяемости опасных явлений погоды и сложных метеословий по месяцам на территории Камчатки по данным метеостанции Петропавловск-Камчатский приведены в таблице 5.

Величина выделенного ресурса для доставки опасных грузов корректируется с учётом летной погоды месяца  $q$  на аэродроме  $k$  путём введения в расчёт поправочного коэффициента  $\mu_{kq}$ , величина которого определяется по формуле (8) и приведена в таблицах:

$$S_{kq} = \mu_{kq} \cdot S_k \quad (8)$$

Таблица 5 – Данные метеорологической обстановки на аэродроме Елизово

Метео-станция	Метео-элементы, %	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Петропав-		Опасные явления											



ловск-Камчатский	Дождевая облачность	0	0	1	4	5	4	9	10	6	1	0	0	
	Гроза	-	-	-	0	1	3	4	3	1	0	-	-	
	Туман	0	0	0	0	1	0	1	1	0	-	-	0	
	Мгла	2	2	3	3	1	0	1	1	2	1	2	1	
	ВНГО ≤ 100м	27	19	13	9	4	2	3	7	10	14	17	16	
	МДВ ≤ 400м	2	4	1	0	-	-	-	-	-	0	0	1	
	Ветер ≥ 15 м/с	2	1	2	2	1	0	0	1	1	1	4	3	
	Сложные метеоусловия													
	ВНГО = 301-600 м	17	18	17	25	27	34	36	34	30	29	27	22	
	МДВ ≤ 4000м	15	9	6	4	1	1	1	2	2	2	7	10	

Значение коэффициента лётной погоды в месяце  $q$  на аэродроме  $k$  определяется по формуле (9).

$$\mu_{kq} = \prod_{i=1}^n (1 - D_i), \quad (9)$$

где  $D_i$  – процент дней нелетной погоды (дней со сложными метеорологическими условиями) в месяце по видам ограничений (гроза, туман и т.д.);  $n$  – количество видов ограничений.

Процент дней нелётной погоды (дней со сложными метеорологическими условиями) по месяцам, а также число этих дней, полученные в ходе расчетов по формуле (9) сведены в таблицу 6, а значения коэффициента  $\mu_{kq}$  приведены в таблице 7. На рисунке 5 представлено значение коэффициента лётной погоды на аэродроме Елизово.

Таблица 6 – Общее число нелетных дней и дней со сложными метеорологическими условиями на аэродроме Елизово

Метеорологическая станция	Метеорологические условия	Месяцы												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Петропав. Камчатск.	Опасные	%	31,9	24,6	20,6	17,8	13,3	10,6	16,9	21,2	18,7	17,4	22,7	20,9
		дни	9,9	6,9	6,4	5,3	4,1	3,2	5,3	6,6	5,6	5,4	6,8	6,5
	Сложные	%	29,4	25,4	21,9	28,0	27,7	34,7	36,6	35,3	31,4	30,4	32,1	29,8
		дни	9,1	7,1	6,7	8,4	8,6	10,4	11,4	10,9	9,4	9,4	9,6	9,2

Примечание: таблица составлена по данным [12, 14].

Таблица 7 - Значение коэффициента лётной погоды  $\mu_{kq}$  по месяцам на  $k$  аэродроме

$k$ -аэродром		$q$ -месяцы; $q$ от 1 до 12											
		$q=1$	$q=2$	$q=3$	$q=4$	$q=5$	$q=6$	$q=7$	$q=8$	$q=9$	$q=10$	$q=11$	$q=12$
$k=1$ Елизово	$\mu_{kq}$	0,681	0,754	0,794	0,822	0,867	0,894	0,831	0,788	0,813	0,826	0,773	0,791

Примечание: таблица составлена по данным [12].

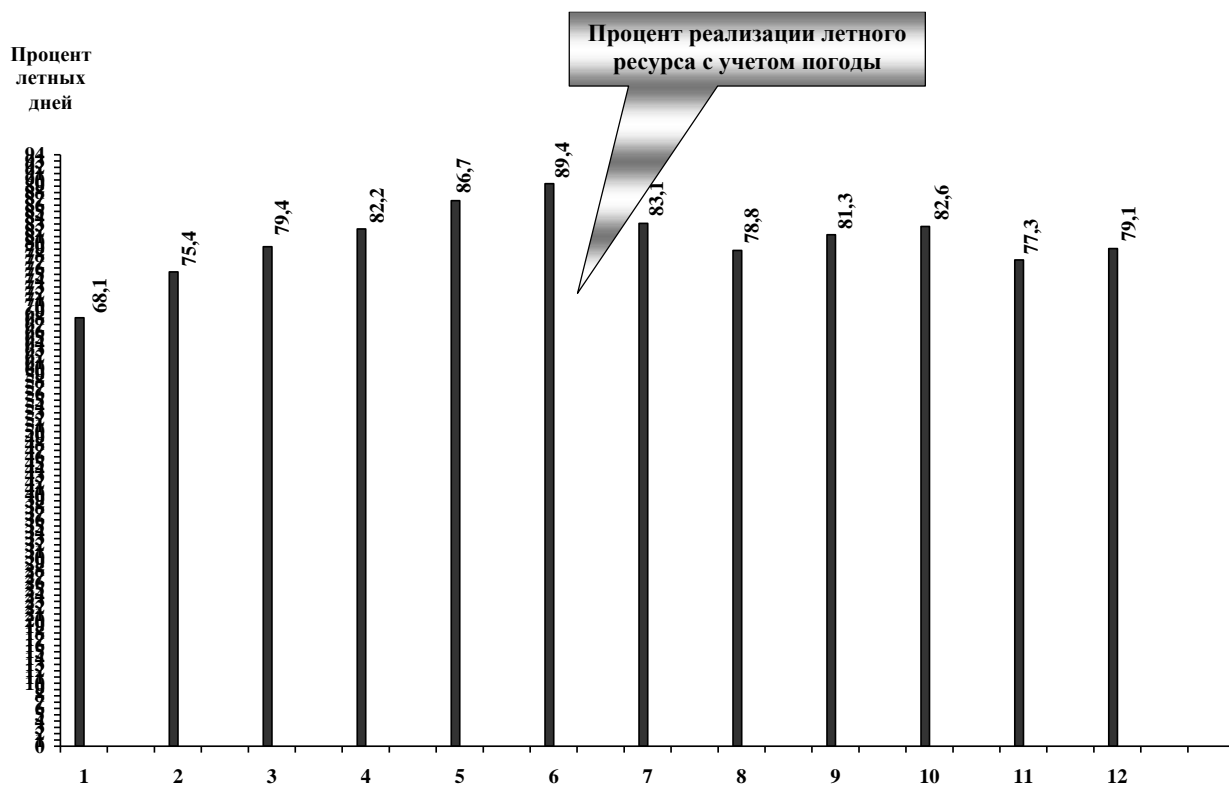


Рисунок 65 – Значение коэффициента лётной погоды на аэродроме Елизово

Анализ таблиц и рисунка показывает, что возможность наиболее интенсивно применять самолёты гражданской авиации можно с апреля по август. Наибольшее значение ресурса будет в июне, когда показатель нелётной погоды составит 10,6%. Наименьшее число дней с лётной погодой приходится на зимний период, когда наблюдаются дни с мглой и метеодалности менее 400 м. Наиболее неблагоприятная погода наблюдается в январе, когда число нелётных дней превышает 30%.

Тем не менее, влияние этих показателей на интенсивность применения самолётов для доставки материальных средств в Елизово можно считать несущественными и не влияющими на дальнейшее развитие перспективы применения воздушного вида транспорта для обеспечения жизнедеятельности Камчатского края.

### Заключение

В настоящей статье были рассмотрены вопросы, связанные с организацией работы грузовой службы аэропорта Елизово при перевозке опасных грузов.

Расчётами установлено, что для выполнения перевозки 16000 тонн опасных грузов потребуется задействовать 166 контейнеров типоразмера УАК-5 и 94 контейнера типоразмера УАК-10.

Из всей площади контейнерной площадки грузового комплекса необходимо выделить площадь (1672 м<sup>2</sup>) под опасные грузы.

Потребное количество мостовых кранов МК-15 будет равно 1 единице. Потребное количество подъемно-комплектовочных столов ПКС-5 составит 2 единицы.

Основным средством при перевозке контейнеров являются контейнеровоз АК-6, которыми осуществляется подвоз контейнеров к воздушным судам для загрузки их на борт воздушного судна и от воздушного судна к грузовому двору.

Потребное количество АК-6 будет равно 6 единицам. Таким образом, необходимо дополнительно приобрести 3 единицы АК-6 или вместо них также можно использовать и автомобили с подъемным кузовом АПК-10.



Для транспортировки груза к борту воздушного судна необходимы 6 автомобилей с подъемным кузовом, а для транспортировки внутри склада потребуются 2 машины. Таким образом, при максимальном параллельном производстве работ АПК их общее число удовлетворяет потребностям погрузочно-выгрузочных работ.

Влияние погодных показателей на интенсивность применения самолётов для доставки материальных средств в Елизово можно считать несущественными, обеспечивающими круглогодичную доставку грузов.

В результате произведенного анализа возможностей грузовой службы и расчёта сил и средств для выполнения перевозок опасных грузов видно, что грузовой терминал аэропорта Елизово в состоянии обеспечивать переработку заданных объёмов опасных грузов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник «Аэропорты и Авиакомпании, Авиапоставщики 2014 (СНГ и Балтия)». — Москва: Авиатека, 2014. — 640 с.
2. Официальный сайт аэропорта Елизово [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Елизово \(аэропорт\) &oldid=69028960](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Елизово_(аэропорт)&oldid=69028960) (дата обращения 29.11.2020).
3. Доставка грузов в Петропавловск-Камчатский [Электронный ресурс]. URL: <http://stk-express.ru/dostavka-petropavlovsk-kamchatsy> (дата обращения 30.11.2020).
4. Федеральное казенное предприятие «Аэропорты Камчатки» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.airkam.ru/> (дата обращения 02.12.2020).
5. Аэропорт Итуруп. Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://avia.pro/blog/aeroport-iturup> (дата обращения 02.12.2020).
6. Аэропорт Южно-Курильск Менделеево. UHSM. ЮЖК. [Электронный ресурс]. URL: <http://avia.pro/blog/aeroport-yuzhno-kurilsk-mendeleevo> (дата обращения 04.12.2020).
7. Аэропорт Хомутово Южно-Сахалинск. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <http://avia.pro/blog/aeroport-homutovo> (дата обращения 07.12.2020).
8. Доставка груза в Петропавловск-Камчатский, Елизово [Электронный ресурс]. URL: <http://rosscargo.ru/kamchatka-konteyner-petropavlovsk-k> (дата обращения 12.12.2020).
9. *Крючков Л.А.* Грузовые перевозки на воздушном транспорте СССР (Организация, технология, экономика). - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1983, 232 с.
10. Перевозка грузов воздушным транспортом: [учебное пособие] / Е. В. Базаева; Авиационная школа Аэрофлота. – М.: Авиационная школа Аэрофлота, 2014. - 360 с.
11. Руководство по грузовым перевозкам на внутренних воздушных линиях Союза ССР (РГП-85) Приказ МГА от 20 августа 1984 года N31/и
12. Атлас гидрометеорологических данных. Дальневосточный федеральный округ. Том 2, Ч.1. - М.: Воениздат, 1991. – 440 с.
13. *Белгородский С.Л., Музалев А.А. и др.* Единая методика определения минимумов аэродромов для взлета и посадки воздушных судов. - М.: Воениздат, 1994. – 196 с.
14. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ФГБУ «Камчатское УГМС») [Электронный ресурс]. URL: <http://kammeteo.ru/gms1set.html> (дата обращения 12.12.2020).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Россадко Ангелина Андреевна —

студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

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



E-mail: ya.rassadko99@yandex.ru

**Уголков Сергей Вячеславович —**

кандидат военных наук, доцент, доцент кафедры

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

E-mail: uglkvserg@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Rossadko Angelina Andreevna —**

student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

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

E-mail: ya.rassadko99@yandex.ru

**Ugolkov Sergey Vyacheslavovich —**

PhD. milit. Sciences, associate Professor, associate Professor

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

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

E-mail: uglkvserg@mail.ru



УДК 656.025.4

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-71-77

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МОРСКОЙ ПАРОМНОЙ ЛИНИИ

**Д. Л. Сабулуа**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье рассмотрены статистические данные по грузовым паромным перевозкам в регионе Балтийского моря, изучены особенности перевозки накатной техники паромными по выбранному маршруту, проведен анализ основных показателей эффективной работы паромной линии и определены исходные данные анализа загруженности.*

*Ключевые слова: паромные перевозки, накатная техника, грузопоток, грузопместимость, загруженность.*

### **Для цитирования:**

*Сабулуа Д. Л. Исследование эффективности организации морской паромной линии // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 71-77. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-71-77.*

## RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF THE ORGANIZATION OF THE MARINE FERRY LINE

**D. L. Sabulua**

State University of Aerospace Instrumentation

*The article considers the statistical data on freight ferry lines in the Baltic Sea region, studies the features of transportation of rolling equipment by ferries, analyzes the main indicators of the effective operation of a ferry line and determines the initial data on the workload.*

*Key words: ferry transportation, rolling equipment, cargo traffic, cargo capacity, workload.*

### **For citation:**

*Sabulua D. L. Research of the efficiency of the organization of the marine ferry line // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 71-77. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-71-77.*

В исследовании необходимо выполнить анализ загруженности существующей морской паромной линии. Для лица, принимающего решение по прогнозированию развития эффективности организации морской паромной линии, необходимо наличие специализированного информационного инструментария. Для эффективной его работы необходим учёт технологического процесса.

Образуются следующие задачи исследования:

- Изучить современный рынок и развитие паромных перевозок;
- Проанализировать динамику развития паромных перевозок и количества перевозимого накатного груза;
- Исследовать существующую маршрутную сеть паромных линий в регионе Балтийского моря;
- Изучить особенности перевозки накатных грузов и оформления грузов при паромных перевозках;
- Проанализировать показатели, влияющие на эффективность работы морской паромной линии;
- Определить исходные данные анализа загруженности.

Морской транспорт – базовый сегмент современного транспортного комплекса, обеспечивающий реализацию технологии транспортных процессов и занимающий особое место в формировании транспортных потоков. Рынок паромных перевозок является одним из наиболее динамически развивающимся в международном сообщении.

Паромные перевозки распространены в большинстве стран мира, эффективно действуя и



связывая материки с островами или полуостровами. Самым загруженным морским путём в мире является пролив Ла-Манш, соединяющий Великобританию и континентальную Европу, Бельгию, Данию, Нидерланды, Испанию и Ирландию. Северная Америка является также загруженным регионом в связи с развитой сетью пресноводных озер и крупной береговой линией. Следующим загруженным регионом является бассейн Балтийского моря, путь через который соединяет Финляндию с Аландскими островами и Швецией, Эстонией и Россией.

Морской транспорт Балтийского моря – значимый элемент глобальной транспортной системы, обеспечивающей движение грузов и пассажиров между странами. Ежегодно на Балтике паромными перевозятся порядка 162 млн пассажиров, что составляет 20% от общего объема мировых паромных перевозок, 55 млн легковых автомобилей - 43% от общего объема, 4,8 млн трейлеров – 23% и 260 тыс. автобусов – 30%. Грузовые перевозки на главных паромных линиях Балтийского моря превышают 40 млн т в год [1].

В России перевалка грузов, перевозимых на паромах, преимущественно осуществляется в морских портах бассейнов: Балтийском, Азово-Черноморском и Дальневосточном. На рисунке 1 представлен объём перевалки грузов в трёх бассейнах в 2018 и 2019 годах.

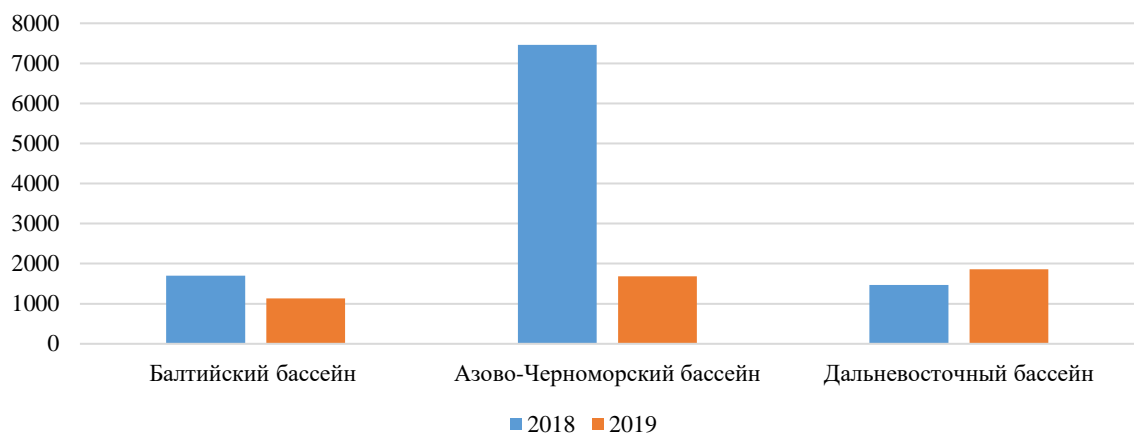


Рис. 7. Объём перевалки грузов на паромах в морских портах России трёх бассейнов

Паромная отрасль в странах Балтики имеет широкую маршрутную сеть. Западный рынок включает в себя услуги грузоперевозок между Швецией, Германией и Данией; восточный рынок – Швецией, Финляндией и Эстонией. Также распространены паромные перевозки по маршрутам: Санкт-Петербург–Хельсинки, Амстердам/Антверпен/Зеебрюге–Хельсинки, Хельсинки–Травемюнде, Травемюнде–Вентспилс, Любек/Киль–Санкт-Петербург, Киль–Клайпеда. Основными RO-OR терминалами являются Гетеборг, Гдыня, Треллеборг, Травемюнде, Хельсинки, Стокгольм [2]. На рисунке 2 отображена интенсивность движения судов на маршрутах Балтийского моря [6].

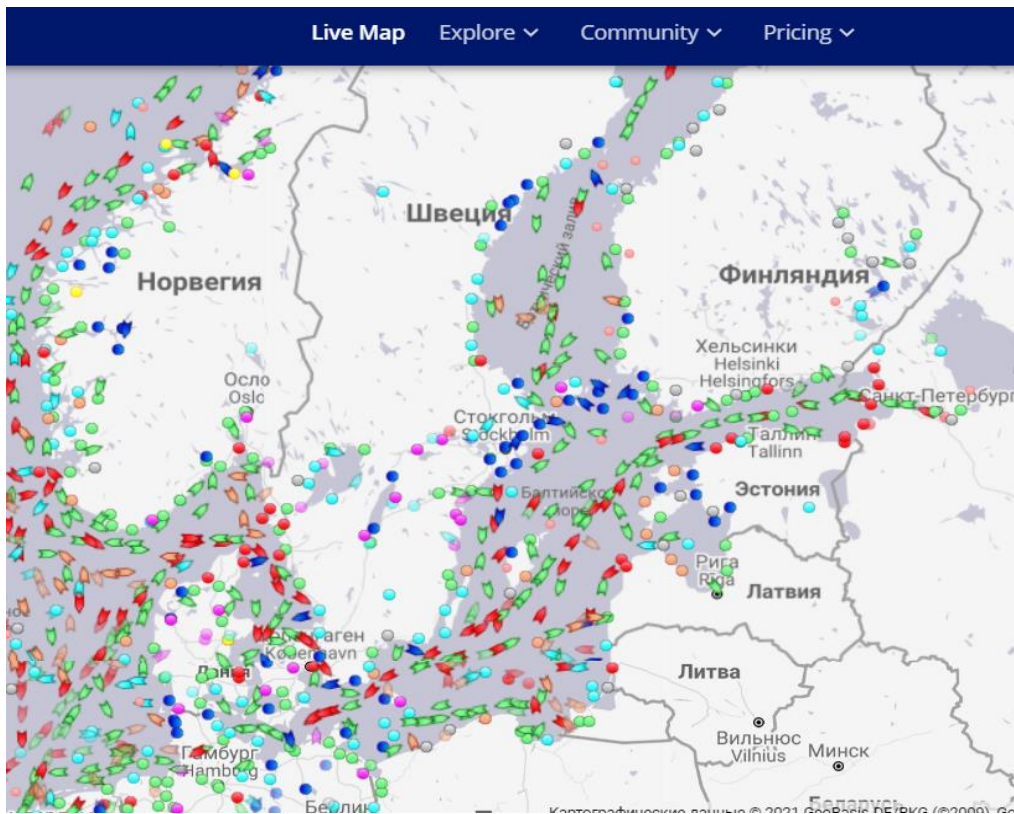


Рис. 8. Интенсивность движения судов на маршрутах Балтийского моря

Ролкерная транспортно-технологическая система позволяет осуществить перевозку накатной техники, минимизировав временные затраты на выполнение погрузочно-разгрузочных работ и упростив механизацию перевалочных работ.

Судна типа RO-RO осуществляют перевозку накатной техники, обеспечивая горизонтальную погрузку и выгрузку грузов с помощью откидной кормы. RO-RO суда представляют собой многопалубные суда с избыточным надводным бортом, большой удельной грузоподъемностью и увеличенной высотой грузовых помещений. Наличие кормовой аппарели, свободных для маневра, не разделенных на отдельные отсеки грузовых помещений, а также свободной верхней палубы без люковых комингсов и грузовых средств облегчает погрузку и размещение груза [3].

Загрузка и выгрузка накатной техники на судно осуществляется самоездом на палубу судна через нос или корму судна при помощи грузовой рампы, соединяющей причал и борт судна. Данный способ загрузки и выгрузки способствует повышению скорости грузообработки [4].

Объектом исследования является перевозка накатной техники по маршруту ММПК «Бронка» - порт Хельсинки. Цепь поставки представлена на рисунке 3.

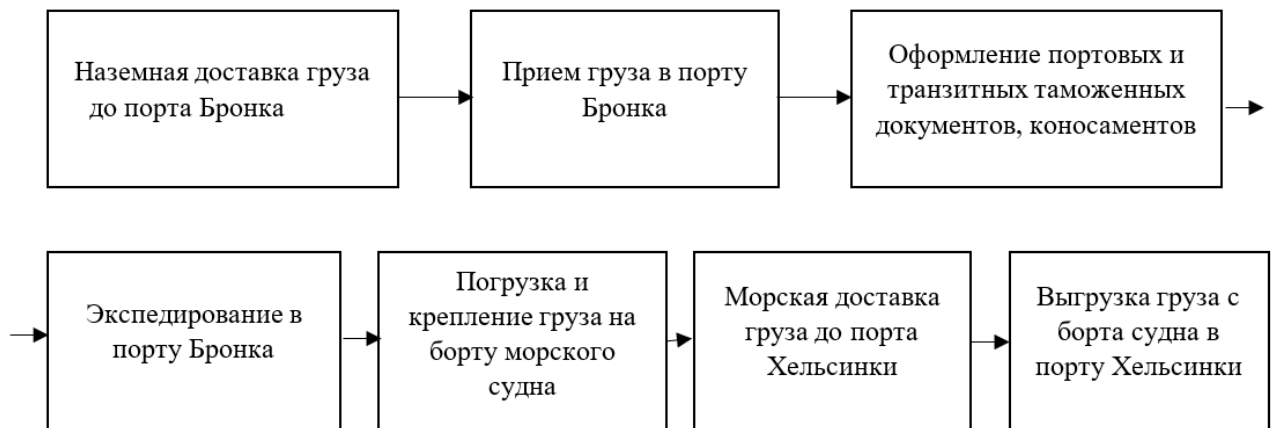


Рис. 3. Цепь поставки груза по маршруту: порт Бронка – порт Хельсинки

Основными показателями эффективности и целесообразности организации работы морской паромной линии являются:

- Показатели суден: использование грузоподъемности и грузовместимости, скорость и производительность;
- Показатели стабильного объема перевозок и грузооборота;
- Показатели количества порожних судовых заходов;
- Показатели времени [5].

На рисунках 4-7 представлены графики использования грузоподъемности судов за 4 месяца.

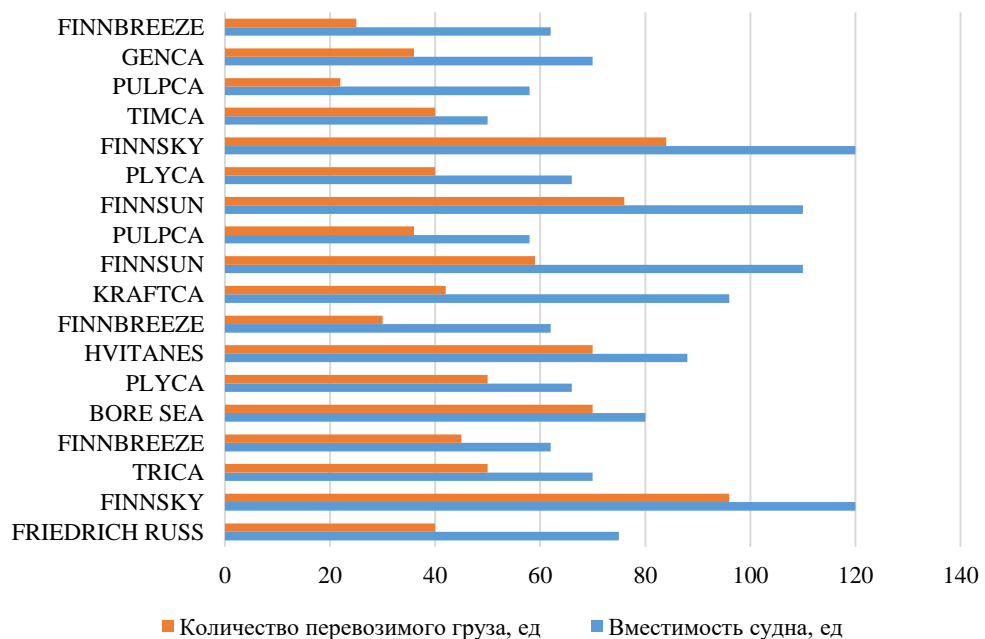


Рис. 4. График использования грузоподъемности судна в октябре

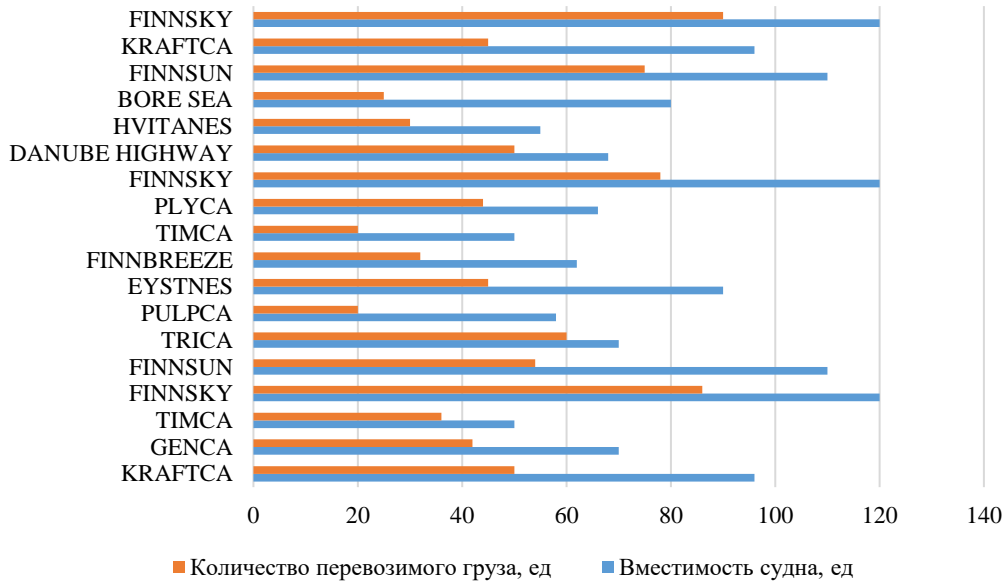


Рис. 5. График использования грузоподъемности судна в ноябре

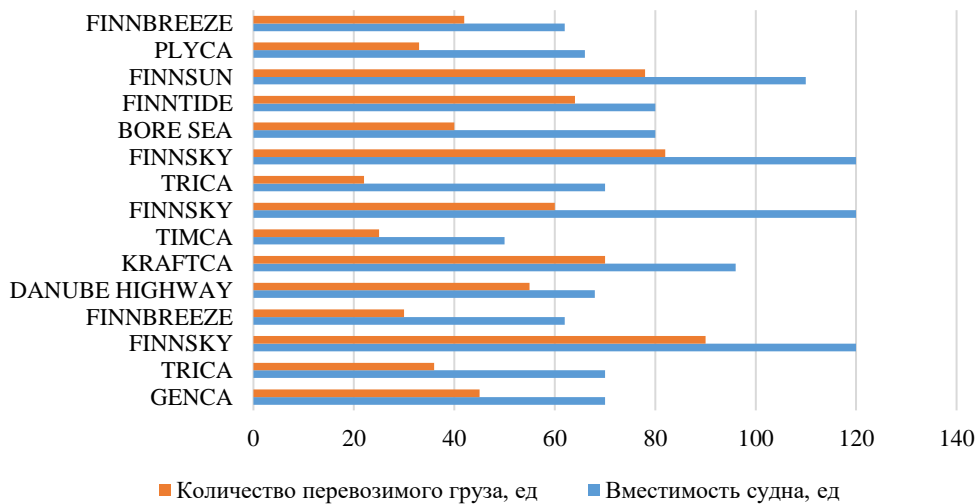


Рис. 6. График использования грузоподъемности судна в декабре

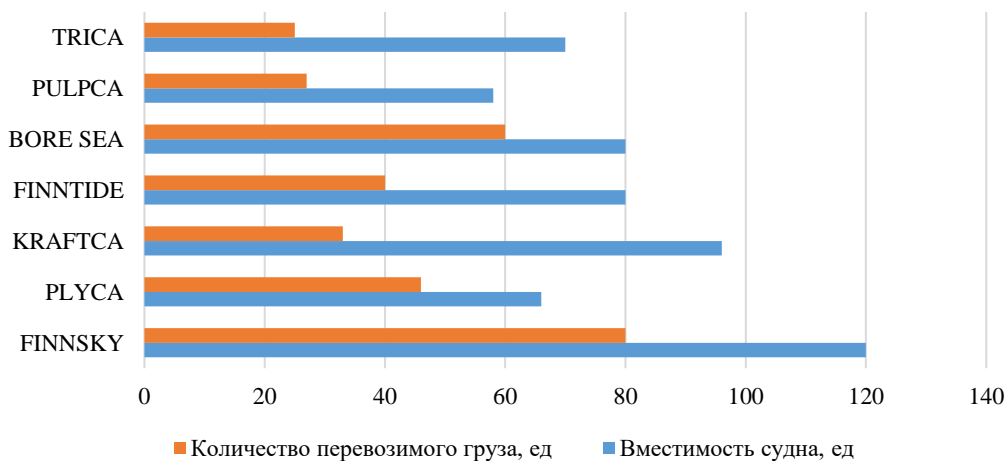


Рис. 7. График использования грузоподъемности судна в январе



График изменения грузопотока с января 2020 года по январь 2021 года отражен на рисунке 8.

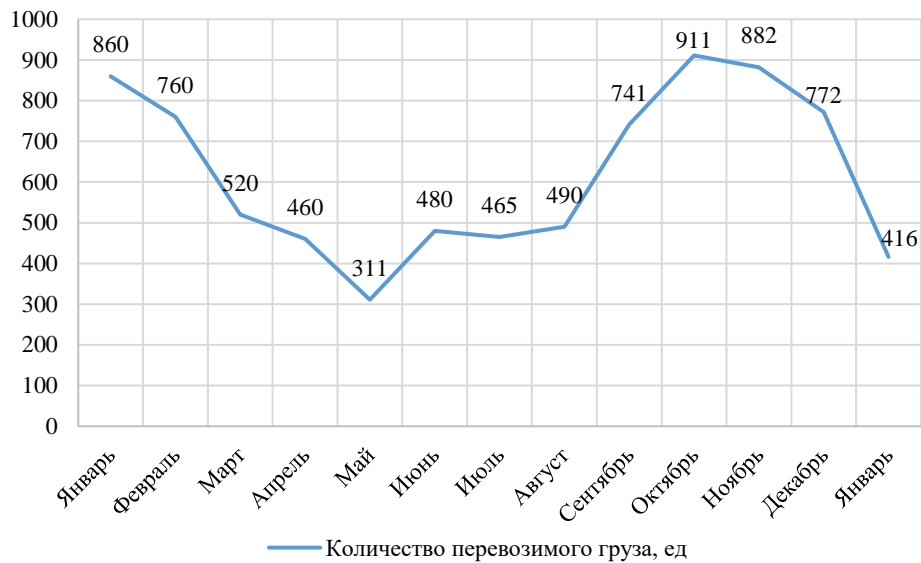


Рис. 8. График изменения грузового потока за период январь 2020 г.- январь 2021 г.

Количество и изменение грузопотока неразрывно связано с судовыми заходами, отражающими загрузенность паромной линии. Загруженность паромной линии за период январь 2020 г.- январь 2021 г. представлена на рисунке 9.

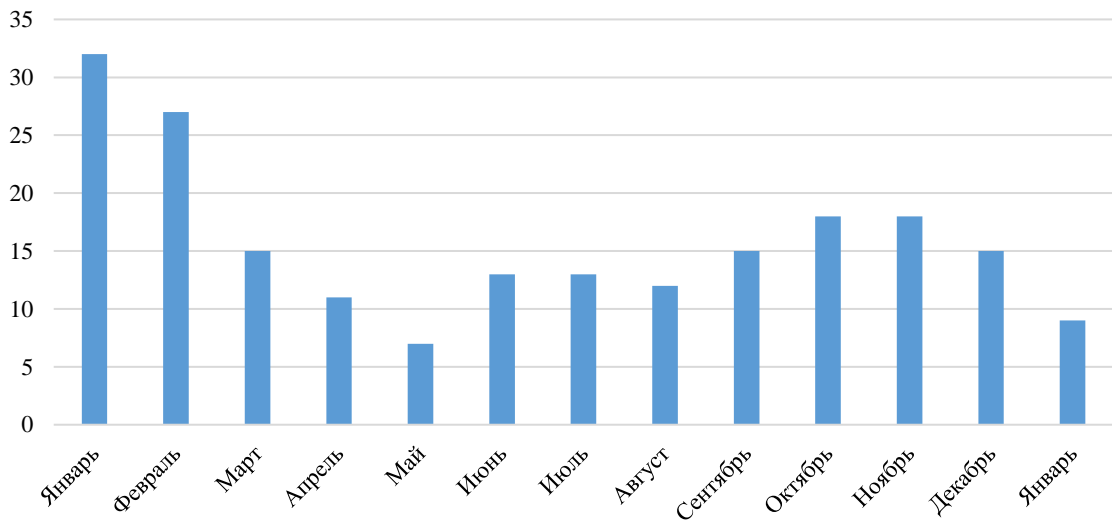


Рис. 9. Загруженность паромной линии за период январь 2020 г.- январь 2021 г.

На основании исследования по работе морской паромной компании можно сделать следующие выводы:

- В процентном соотношении грузопоместимость судов приблизительно составляет 70%, что является достаточно высоким показателем;
- Анализ изменения грузопотока и количества грузовых заходов позволяет спрогнозировать загрузенность паромной линии.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онлайн-платформа ЭКСПЕРТ [Электронный ресурс]. – URL: [https://expert.ru/northwest/2004/22/22no-stema\\_50231/](https://expert.ru/northwest/2004/22/22no-stema_50231/) (дата обращения: 25.03.2021).
2. *Urbanyi I.* Consolidation in ferry and ro-ro shipping at the Baltic Sea / I. Urbanyi // Gdunia Maritime University: Logistyka. – 2014. –N 6. – P. 13044 – 13050.
3. Онлайн-платформа «TRANSENTRY. Транспортные средства». URL: <http://www.transentry.ru/> (дата обращения: 28.03.2021).
4. *В. Кириченко* и др. Введение в транспортную логистику. Уч. пос. – СПб.: ГУАП, 2011.
5. *Майоров Н. Н.* Развитие морских паромных перевозок в балтийском море в контексте глобальных тенденций // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №1(23), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2020 – с. 65-73. РИНЦ.
6. Marine Traffic. Global Ship Traffic Intelligence [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.marinetraffic.com/> (дата обращения: 15.04.2021).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Сабулуа Диана Лериевна** —

магистр института аэрокосмических приборов и систем, кафедры системного анализа и логистики Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: [dianka16359@gmail.com](mailto:dianka16359@gmail.com)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Sabulua Diana Lerievna** —

master of the Institute of Aerospace Instruments and Systems, Department of Systems Analysis and Logistics Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: [dianka16359@gmail.com](mailto:dianka16359@gmail.com)



УДК 656.08

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-78-84

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННОГО ПОДХОДА К БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОЙ СИСТЕМЫ

**В. В. Зеленцова, Н. А. Слободчиков**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В данной статье рассмотрена концепция безопасной системы. На примере модели «швейцарского сыра» рассмотрены центральные принципы безопасной системы. Проведён сравнительный анализ традиционного подхода к безопасности дорожного движения и безопасной системы. В результате проведённого анализа выявлены преимущества безопасной системы, способные значительно снизить уровень аварийности на дорогах.*

*Ключевые слова: безопасная система, безопасность дорожного движения, концепция безопасности Vision Zero, нулевая смертность.*

### **Для цитирования:**

*Зеленцова В. В., Слободчиков Н. А. Сравнительный анализ традиционного подхода к безопасности дорожного движения и безопасной системы // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 78-84. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-78-84.*

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRADITIONAL APPROACH TO ROAD SAFETY AND THE SAFE SYSTEM

**V. V. Zelentsowa, N. A. Slobodchikov**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*This article discusses the concept of a secure system. On the example of the «Swiss cheese» model, the central principles of a safe system. A comparative analysis of the traditional approach to road safety and the safe system is carried out. As a result of the analysis, the advantages of a safe system that can significantly reduce the level of accidents on the roads are identified.*

*Key words: safe system, road-traffic safety, Vision Zero safety concept, zero mortality.*

### **For citation:**

*Zelentsowa V. V., Slobodchikov N. A. Comparative analysis of the traditional approach to road safety and the safe system // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 78-84. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-78-84.*

### **Введение**

Проблема с возникновением большого количества дорожно-транспортных происшествий занимает особое место не только на территории Российской Федерации, но и во многих развитых европейских городах. Государства по-разному пытаются снизить смертность на дорогах: пропагандируют безопасное вождение, снижают скоростные лимиты. Один из наиболее успешных примеров такой работы – шведская концепция безопасности «Vision Zero», принятая в 1997 году и направленная на то, чтобы к 2020 году на дорогах страны не погибал ни один человек [1]. Данная концепция в общем контексте безопасности дорожного движения возникла в Швеции и Нидерландах в 1980-х и 1990-х годах. В этот момент как ученые, так и политические деятели начали подвергать сомнению тезис о том, что безопасность участников дорожного движения является их собственной ответственностью. В то же время, задача политики в области безопасности дорожного движения, таким образом, заключалась в том, чтобы влиять на поведение участников дорожного движения, чтобы они всегда действовали безопасно.

По мере того, как десятилетиями не сокращалось число дорожно-транспортных происшествий со смертельным исходом и тяжелыми травмами, пришло понимание, что ставка лишь на образование, информацию, регулирование и закон больше не работают эффективно. Именно тогда эксперты начали изучать понятие транспортного потока и его наполняемость как к сложную многофакторную систему. Во всем мире в других областях человеческой деятельности подход к пониманию сложных



систем с учётом недостатков основного его объекта (человека) уже давно применяется, особенно в области охраны труда.

### Предпосылки возникновения концепции безопасной системы

В системе организации дорожного движения должен существовать один основной критерий успешности: ни один человек не должен погибнуть или серьезно пострадать в результате дорожной аварии. Как только этот критерий в нашей стране будет принят на вооружение, при построении системы организации движения сразу же во главу угла встанет понятие приоритета обеспечения сохранности жизни и здоровья человека над пропускной и провозной способностью дорог, как это предлагается в рамках таких программ, как «Vision Zero» и «Towards Zero». Актуальность данного вывода подтверждается и статистикой Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), которая констатирует, что ежегодно около 1,25 миллиона человек погибают и 50 миллионов получают травмы в дорожно-транспортных происшествиях во всем мире. При этом ежедневно гибнут более 3000 человек, десятки тысяч человек получают травмы или становятся инвалидами. На страны с низким и средним уровнем дохода приходится более 90% всех смертей в результате ДТП [2]. Для сравнения в войнах и вооружённых конфликтах, в период с 1946 по 2014 годы, даже при проведении интенсивных боевых действий число погибших не превышало 600 тысяч человек в год (рисунок 1) [3].

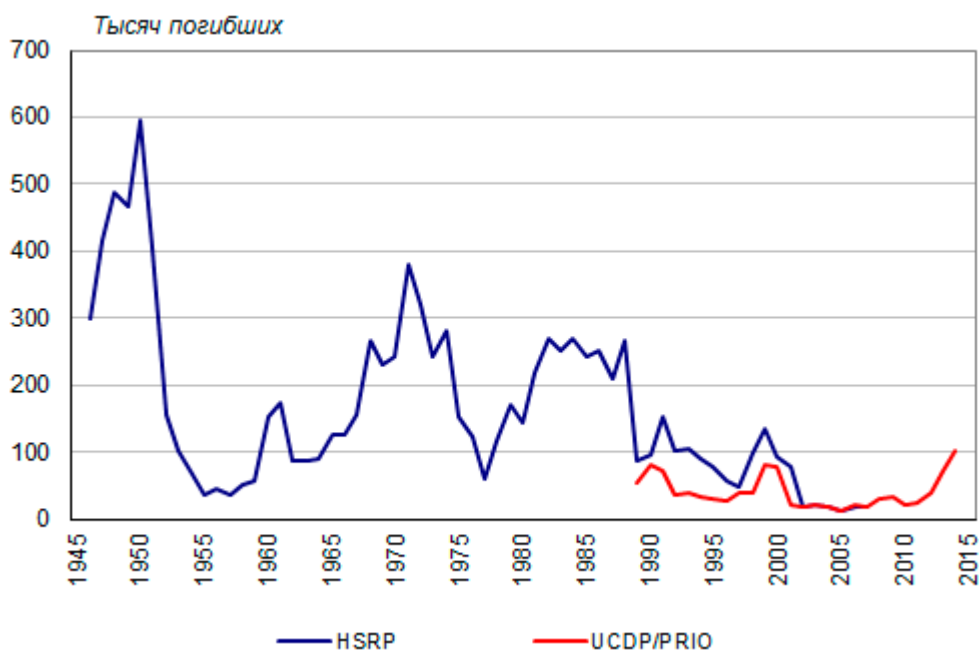


Рис.1. Число погибших в годы вооружённых конфликтов и войн за период с 1945 по 2015 годы

Угроза здоровью и жизни людей с каждым годом возрастает, так как по прогнозам мировой парк автотранспортных средств удвоится чуть более чем за десять лет и к 2030 году седьмой ведущей причиной смерти станет дорожно-транспортный травматизм. Дорожные аварии уже являются причиной смерти номер один для людей в возрасте от 15 до 29 лет. Самые уязвимые участники дорожного движения – это дети, пешеходы, мотоциклисты, велосипедисты и пожилые люди. Их участие в авариях приводит к 50% всех смертельных случаев на дорогах.

Таким образом, без постановки в приоритет жизни и здоровья людей невозможно достигнуть дальнейшего развития дорожного движения. В мире есть опыт применения вышеприведённых программ. Так, например, если в 1957 году в Швеции на 100 тысяч населения в результате дорожных происшествий приходилось 17 погибших (это, кстати, современный российский уровень), то в 2014



году – только двое. В то время как средний показатель по Евросоюзу – 5,5 человек; в США – 11 человек [4].

### **Руководящие принципы системы безопасности**

Это доказывает, что растущая «эпидемия» смертей и травм на дорогах предсказуема и предотвратима. В 21 веке страны с высоким уровнем доходов снизили уровень смертности на дорогах, несмотря на рост использования автотранспортных средств. В этом, прежде всего заслуга систематического применения научно-обоснованных мер с доказанной эффективностью, способствующих повышению безопасности участников дорожного движения; использование более безопасных дорог, более безопасных транспортных средств и самое главное – более безопасным скоростям движения.

В чем же заключаются эти принципы безопасности, которые надо принимать при построении системы организации движения по автомобильным дорогам? Это, прежде всего, создание объединённой системы управления элементами как дорожной инфраструктуры, так и участниками движения, главной задачей которой является предотвращения аварий. Кроме того, в случаях, когда они происходят, необходимо гарантировать, что силы удара не превышают физические пределы человеческих тел и не приводят к серьёзным травмам или смерти.

Такая система должна основываться на анализе прошлых аварий. Кроме того, в ней необходимо использовать упреждающий подход для управления безопасным поведением, а также оценивать риски, присущие дорожной сети, определять приоритетные меры, которые предотвращают серьезные травмы при неизбежном возникновении ДТП.

### **Основные руководящие принципы безопасной системы**

Во-первых, все люди по объективным или субъективным причинам совершают ошибки, которые могут привести к дорожным авариям. Это справедливо применительно как к опытным участникам дорожного движения, так и особенно к детям, пожилым людям, неопытным водителям, особенно к людям с ограничением здоровья. Есть множество причин, по которым участники дорожного движения допускают ошибки. Во многих случаях они возникают в результате взаимодействия между участником дороги и сложной физической, социальной, организационной и технической средой. В этой связи принцип безопасной системы организации движения должен основываться на понимании того, что человеческая ошибка больше не должна рассматриваться как основная причина сбоев. То есть, дорожно-транспортные происшествия должны рассматриваться как следствие скрытых сбоев, вызванных решениями и действиями в рамках более широкой организационной, социальной или политической системы, в которых действуют участники дорожного движения. Поэтому при проектировании и эксплуатации дорожно-транспортной системы необходимо учитывать как возможности, так и ограничения человека. Другими словами, при разработке программы Vision Zero учитывался закон Мёрфи: «Если неприятность может произойти, она обязательно случится» [5]. Водитель – обычный человек, который рано или поздно допустит ошибку. А значит, бессмысленно просто вводить новые штрафы и запреты, необходимо минимизировать количество ситуаций, в которых ошибка может привести к летальным последствиям.

Во-вторых, человеческое тело обладает известной ограниченной физической способностью выдерживать ударную нагрузку до того, как произойдет повреждение, которую необходимо учитывать как при конструировании транспортных средств, так и при их эксплуатации.

В-третьих, несмотря на то, что каждый участник дорожного движения обязан действовать осторожно, полностью соблюдая правила дорожного движения, должна существовать и совместная ответственность тех, кто проектирует, строит, управляет и использует дороги и транспортные средства для предотвращения аварий, приводящих к серьезным травмам или смерти, и для оказания помощи после аварии.



Те, кто проектирует, строит, управляет и использует дороги и транспортные средства, а также обеспечивают послеаварийный уход, несут общую ответственность для предотвращения аварий, приводящих к серьезным травмам или смерти. Хотя каждый участник дорожного движения несет индивидуальную ответственность за соблюдение законов и правил, связанных с безопасностью, факт остается фактом: люди не безупречны и всегда будут совершать ошибки, независимо от того, насколько они образованы и законопослушны.

Таким образом, в системе безопасности безопасное поведение человека, в первую очередь, определяется и регулируется дизайном, планировкой и эксплуатацией дорожной сети, а также традиционными действиями по обучению и обеспечению безопасного поведения.

В системе, где ошибки пользователей компенсируются таким образом, чтобы они не приводили к серьезным или смертельным травмам, большая часть ответственности за безопасность автоматически перекладывается с самих участников дорожного движения на всех, кто проектирует дорожно-транспортную систему.

В-четвертых, организация дорожного движения должна обеспечивать дублирование и взаимозаменяемость как участников дорожного движения, так и инфраструктуры, чтобы обеспечивался принцип сохранения жизни и здоровья в случае выхода из строя одной из частей. Данный принцип направлен на устранение существующей в настоящее время «критической» точки, заключающейся в том, что отказ одного элемента может привести к серьезным травмам. Решение данной проблемы возможно иллюстрировать при помощи моделью «швейцарского сыра», в которой отверстие представляет собой скрытую ошибку. Сама по себе скрытая ошибка не может привести к серьезным последствиям. Скрытые ошибки становятся опасными, если они допускают цепочку событий, ведущих к сбою (рис. 2).

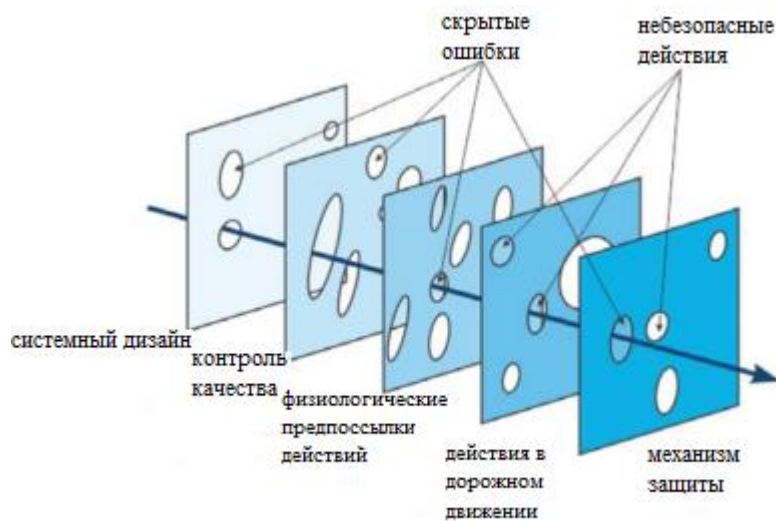


Рис. 2. Модель «швейцарского сыра», применяемая к безопасности дорожного движения

Отдельная ошибка в данной модели – это «дырка в ломтике». Таких «дырок» много в любой системе на каждом из уровней, они находятся в разных местах и обладают разной степенью потенциальной разрушительности. Однако следующий уровень – «ломтик», в котором нет проблемы на том же месте, защищает всю систему от серьезных последствий. Если применить данную модель «швейцарского сыра» на примере системы организации движения, то получится, что первый «ломтик» – это транспортная инфраструктура, второй – контроль за соблюдением правил, третий – психоэмоциональное и физиологическое состояние водителя, четвертый – действия в дорожном движении, пятый – способы защиты. Так, например, если водителю во время движения стало плохо, но при этом элементы транспортной инфраструктуры образуют единое целое, то вероятность возникновения серьезной аварии сводится к минимуму.



Применение данной модели позволяет усилить все аспекты безопасности дорожного движения с тем, чтобы комбинация мер перекрывала друг друга и обеспечивала в случае отказа одного из элементов защиту участников дорожного движения за счёт многоуровневого характера системы. Отказы одного из элементов не могут привести к «Траектории возможностей аварии» [6]. Динамическое взаимодействие различных элементов безопасной системы объединяется, чтобы увеличить защитный эффект таким образом, чтобы общая безопасность была выше, чем если бы она обеспечивалась путем суммирования эффекта отдельных элементов.

Создание такой системы в городе требует понимания и управления сложным и динамичным взаимодействием между транспортными средствами и скоростями их движения, дорожной инфраструктурой и поведением участников дорожного движения комплексным образом, чтобы сумма отдельных частей системы объединялась для большего общего эффекта, с основной задачей: если одна часть выйдет из строя, другие части все равно предотвратят возникновение серьезных повреждений.

### Существующие подходы обеспечения безопасности дорожного движения

Для создания такой системы необходимо, прежде всего, анализировать безопасность дорожного движения и производить исследование возможных аварий. Тут, как и в любом исследовании, возможны два подхода. Традиционный подход включает в себя анализ того, что было в прошлом. При проведении данного анализа причины аварии получается возможность понять все факторы, связанные с аварией, которая произошла, и на основании него предложить способы предотвращения аварии. Альтернативным подходом является моделирование потенциальных сбоев в будущем, и на основе этого определение всех возможных способов предотвращения таких аварий. Этот подход является основой предлагаемой системы безопасности.

Таблица 1 – Сравнительный анализ традиционного подхода к безопасности дорожного движения и безопасной системы

Фактор	Традиционный подход	Альтернативный подход
Основная задача	Предотвращение аварий	Предотвращение аварий, приводящих к смертельному исходу и серьезным ранениям
Основные подходы планирования	Уменьшить количество смертельных случаев и серьезных травм	Отсутствие смертельных случаев и серьезных травм
Причины ДТП	Несоответствующие участники дорожного движения	Люди совершают ошибки, и люди физически уязвимы при авариях. Различное качество и дизайн инфраструктуры, а также рабочие скорости обеспечивают непостоянство руководства для пользователей о безопасном использовании.
Ответственность в результате ДТП	Индивидуальные участники дорожного движения	Совместная ответственность отдельных лиц с разработчиками системы
Принцип работы системы	Состоит из отдельных взаимодействий	Различные элементы безопасной системы объединяются, чтобы произвести общий эффект, больший, чем сумма отдельных обработок, так что, если одна часть системы выходит из строя, другие части обеспечивают защиту.
Мероприятия	Введение скоростного режима (штрафование за его несоблюдение)	Заблаговременная планировка инфраструктуры с учетом увеличивающихся пассажиропотоков и потоков машин (строительство круговых перекрестков, введение одностороннего движения, строительство дорог с разделительным барьером и возвышающимися островками безопасности)



## Заключение

Внедрение предлагаемого подхода особенно актуально в таких мегаполисах как Москва и Санкт-Петербург. К сожалению, в них наблюдается тенденция на повышение аварийности. Так, например, в 2016 г. в Санкт-Петербурге произошло 6104 ДТП, пострадавших 7208, а уже в 2019 году 6634 ДТП и 7882 пострадавших [7].

Как показывает анализ этих происшествий, наиболее опасными с аварийной точки зрения в городе дорожными элементами являются: традиционные Х-образные перекрестки, где концентрируется больше 80-90% контактов и конфликтных точек. Кроме того, особое внимание необходимо уделять перекресткам, расположенным вблизи метро, на работу которых влияют не только увеличение транспортного потока, но и увеличенный пассажиропоток.

Решение проблемы аварийности и травматизма на этих элементах транспортной инфраструктуры требует проведения дополнительных исследований и принятие решения на основе инновационного подхода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ф.Соловьев*. Как работает концепция «visionzero» в России [Электронный ресурс] – URL: <https://bit.ly/3tNz4p5> (дата обращения: 08.04.2021).
2. Доклад ВОЗ о глобальной дорожной безопасности (дата обращения 25.03.2021).
3. Статистика погибших в вооруженных конфликтах [Электронный ресурс]– URL: <https://bit.ly/3wbsryj> (дата обращения 01.04.2021).
4. *Лиашахум*. Vision Zero изнутри. Тематическое исследование о приоритетах межведомственной координации и подотчетности [Электронный ресурс] – URL: <https://bit.ly/3tPBZhd> (дата обращения: 07.04.2021).
5. Закон Мерфи [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3hs14fn> (дата обращения 10.04.2021).
6. *Reason J*. Human error / Reason J// New York: Cambridge University Press. 1990. – С. 30-34.
7. Статистика ДТП [Электронный ресурс]–URL: <http://stat.gibdd.ru/>(дата обращения 11.04.2021).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Зеленцова Валерия Валерьевна** —

студент

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

E-mail: [zelentsowa.valeria@yandex.ru](mailto:zelentsowa.valeria@yandex.ru)

**Слободчиков Николай Александрович** —

кандидат военных наук, профессор

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

E-mail: [kola\\_slob@mail.ru](mailto:kola_slob@mail.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Zelentsowa Valeria Valeryevna** —

student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: [zelentsowa.valeria@yandex.ru](mailto:zelentsowa.valeria@yandex.ru)



**Slobodchikov Nikolai Alexandrovich** —  
candidate of military Sciences, Professor  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: kola\_slob@mail.ru



УДК 004.358

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-85-96

## РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ С ФУНКЦИЕЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ЦЕЛЬЮ УСКОРЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ НА ПРИМЕРЕ АЭРОПОРТА «ПУЛКОВО»

**А. Е. Евтушенко, М. А. Кропанёва**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В данной статье предлагается прототип приложения для смартфонов, направленный на улучшение сервисных услуг и повышение скорости обслуживания пассажиров на примере аэропорта Пулково. Программное обеспечение способствует улучшению информационно-мультимедийного и технического обеспечения аэропорта. Рассматриваются существующие информационные технологии и опыт их применение в различных аэропортах мира.*

*Ключевые слова: воздушный транспорт, аэропорт, обслуживание пассажиров, воздушный пассажирский транспорт, Санкт-Петербург, приложение, информационные технологии.*

### **Для цитирования:**

*Евтушенко А. Е., Кропанёва М. А. Разработка приложения с функцией дополненной реальности с целью ускорения обслуживания пассажиров на примере аэропорта «Пулково» // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 85-96. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-85-96.*

## DEVELOPMENT OF AN APPLICATION WITH AN AUGMENTED REALITY FUNCTION TO SPEED UP PASSENGER SERVICE ON THE EXAMPLE OF PULKOVO AIRPORT

**A. E. Evtushenko, M. A. Kropaneva**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*This article offers a prototype of an application for smartphones, aimed at improving services and increasing the speed of passenger service on the example of Pulkovo Airport. The software helps to improve the information and multimedia and technical support of the airport. The existing information technologies and the experience of their application in various airports of the world are considered.*

*Key words: air transport, airport, passenger service, air passenger transport, St. Petersburg, application, information technology.*

### **For citation:**

*Evtushenko A. E., Kropanyova M. A. Development of an application with an augmented reality function to speed up passenger service on the example of Pulkovo airport // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 85-96. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-85-96.*

### **Введение**

Смартфоны уже давно стали неотъемлемой частью жизни каждого взрослого человека. Теперь это не просто средство связи, это верный подручный, который обладает огромным количеством различных функций и с течением времени поглощает всё больше различных предметов из нашей жизни.

Ещё недавно возможность говорить по телефону из любой точки мира казалась каким-то невероятным новшеством, прошло совсем немного времени и телефоны научились не только быть средством связи, но и собеседником, VR-рулеткой, библиотекой, навигатором, идентификатором личности. И с каждым днем невероятных функций становится все больше.

### **Приложение-ассистент с функцией дополненной реальности**

Существует множество интересных и полезных приложений для смартфонов в различных аэропортах мира, однако их популярность и внедрение повсеместно не так стремительны ввиду дороговизны на фоне невысокой эффективности. Вряд ли Вас заинтересует установка приложения для просмотра онлайн-табло вылетов и прилетов, когда Вы можете найти табло в здании аэропорта. Однофункциональные приложения находят своих фанатов, но все же подход, объединяющий



технологии в виде единого многофункционального приложения, мог бы придать им максимальную эффективность и обрести должную популярность. Для наглядности предлагается прототип приложения. Приложение предполагается как одна из составляющих технологического комплекса обслуживания пассажиров аэропорта. Прототип разработан на основе конструктора «Apper» [1].

Приложение (рис. 1) имеет главный экран в минималистичном стиле, имитирующем рабочий стол на Вашем телефоне. В Приложении можно сменить язык, что обеспечивает удобство пользования для иностранных граждан.

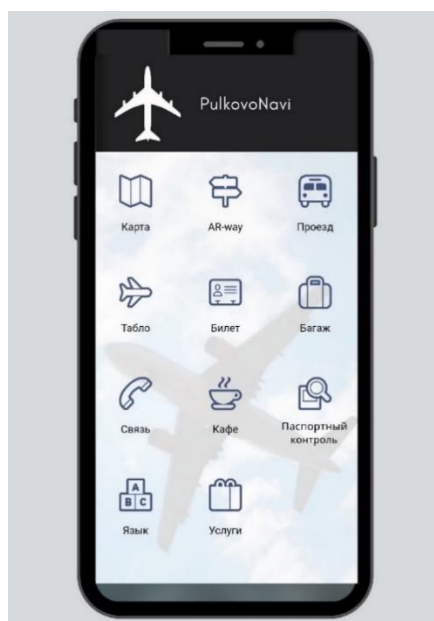


Рис. 1. Интерфейс прототипа приложения

### **Функция навигатора с технологией дополненной реальности**

Дополненная реальность (AR) – это компьютерная проекция объекта на реальный мир [2]. Дополненная реальность – это среда, в реальном времени дополняющая физический мир, каким мы его видим, цифровыми данными с помощью каких-либо устройств – планшетов, смартфонов и программной части [3].

Использовать смартфоны для облегчения навигации пассажиров в аэропорту первым стал аэропорт Gatwick. Gatwick – второй по величине аэропорт в Лондоне после Heathrow.

С помощью AR-технологии дополненной реальности и около двух тысяч Bluetooth-маячков было создано приложение «GatwickAirportOfficial». Это первое в своем роде приложение в мире цифровых инноваций с функциями FIDS и ARpassenger.

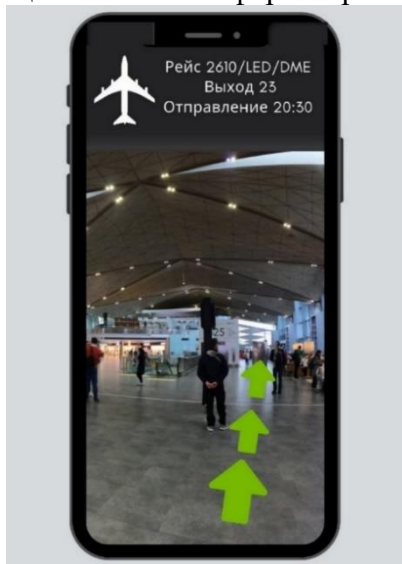


Рис. 2. Пример работы приложения аэропорта Gatwick

Изначально приложение работало подобно навигатору, показывая местоположение пользователя на цифровой схеме аэропорта и строя маршруты до конечных точек. После внедрения AR-технологии приложение буквально покажет вам куда идти, для этого необходимо навести телефон на пространство перед собой, приложение определит местоположение пользователя и «проложит» ему дорогу с помощью виртуальной линии[4]. Следуя маршруту этой линии, пользователь сможет добраться до нужного места на территории Gatwick, будь то багажная карусель, стойка регистрации и даже ближайшая розетка!

Это середина функциональной «начинки» приложения, но далеко не все. Встроенная функция FIDS перемещает всю информацию в информационных табло в приложение, таким образом оно всегда находится под рукой. Стоит отметить, что Gatwick – первый аэропорт, который ввёл облачную FIDS [5].

Таблица 2 – Оконная форма приложения и описание блока



По сложности навигации Пулково ещё далеко до международного аэроузла. Такой навигатор подойдет для людей, которые находятся в Пулково впервые и плохо ориентируются по многочисленным указателям ввиду языковых различий или индивидуальных особенностей. Виртуальный ассистент буквально «за руку» проведет Вас до нужной точки.

Ассистент может проводить не только до выхода на посадку или стойку регистрации. Но и поможет найти ближайший туалет или розетку, которой можно воспользоваться.

Несмотря на обилие указателей и различных средств навигации, все равно встречаются пассажиры, которые испытывали трудности, когда оказывались в незнакомом аэропорту. Хорошо, если Вы пунктуальный и предусмотрительный человек и всегда приезжаете за рекомендуемые пару часов до рейса. Если же по дороге в аэропорт у Вас случилась пара неожиданных обстоятельств (покупка сувениров, уехали не в ту сторону на метро, долгое выселение из отеля или по пути



сломался чемодан) то счет времени может идти на минуту и права на ошибку может не быть.

Рассмотрим, на каких этапах у пассажиров может возникнуть потребность в помощи с навигацией (см. рис. 4) [6].

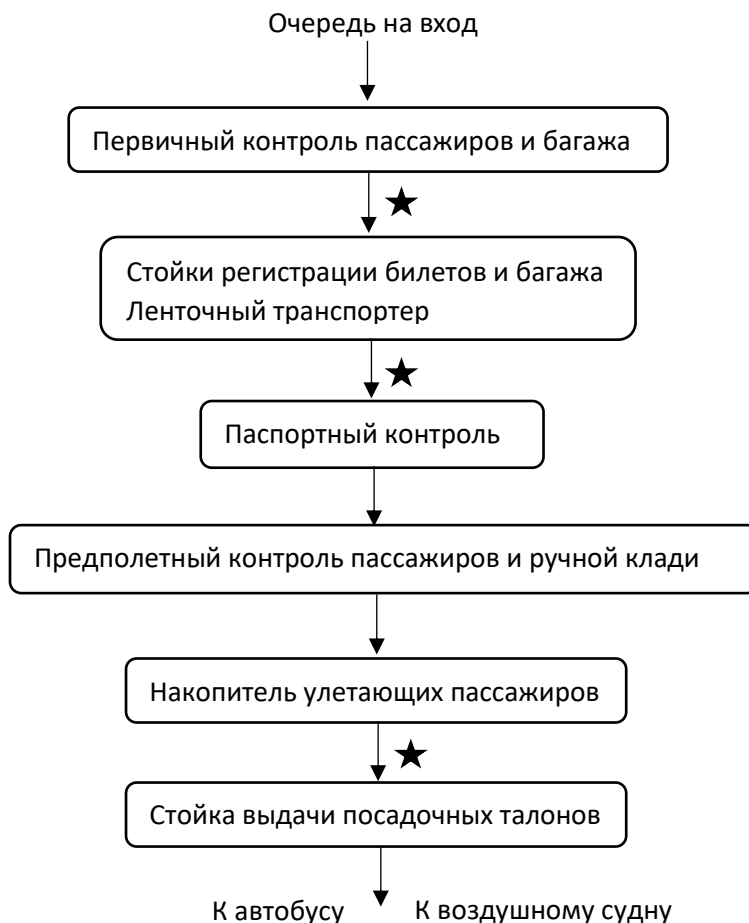


Рис. 4. Логистическая цепь движения улетающих пассажиров

«Звёздочками» на рисунке помечены переходные моменты между этапами предполетных процедур, где пассажиры могут столкнуться со сложностями навигации:

- по прибытии в аэропорт для поиска нужных стоек регистрации или сдачи багажа;
- для поиска стоек паспортного контроля;
- для поиска нужного выхода на посадку;
- для дополнительных услуг: туалет, магазины, кафе, автоматов с едой и даже ближайших розеток для зарядки устройств.

Следовательно, при возникновении необходимости помощи в навигации пользователи смогут воспользоваться соответствующей функцией приложения – навигатора с дополненной реальностью.

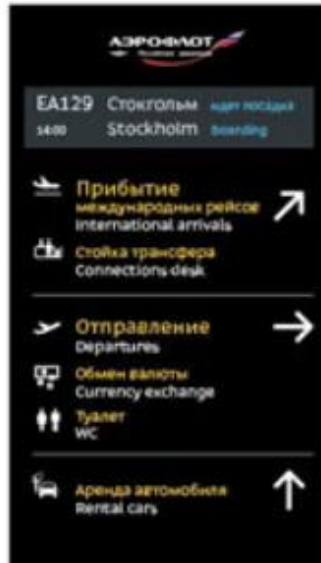


Рис. 5. Информационный стенд аэропорта Пулково

Дополнительные сложности может создавать языковой барьер, т.к. указатели, как правило, используются на русском (если говорить про Россию) и английском языках. Санкт-Петербург символизирует культурную столицу России и привлекает туристов со всего мира.

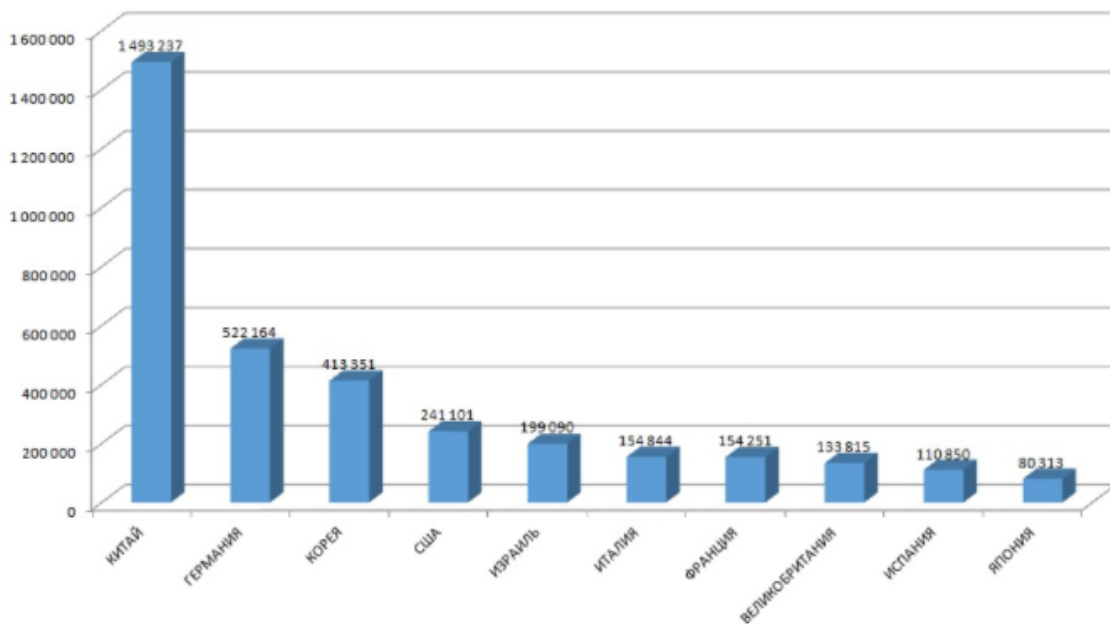


Рис.6. Въезды из разных стран в Россию с целью туризма за 2019 г.

Большая часть визитов туристов приходится на Москву и Санкт-Петербург. Согласно представленной статистике, большинство туристов из не англоговорящих стран, следовательно, могут иметь недостаточный уровень английского или русского языка для самостоятельной навигации по указателям [7]. В таком случае они смогут воспользоваться навигатором, предварительно настроив приложение на родной язык.

### Функция онлайн-табло (FIDS)

FIDS—FlightInformationDisplaySystem— Отображение Полетной Информации — это



компьютерная система, используемая в аэропортах для отображения полетной информации пассажирам, в которой компьютерная система управляет механическими или электронными табло или телевизионными экранами для отображения информации о прибывающих и вылетающих рейсах в режиме реального времени [8]. Такой системой наверняка пользовался каждый, кто хоть раз бывал в аэропорту, чтобы определить время прибытия или отлёта нужного рейса.

Также собранные данные о местоположении пассажиров помогут руководству регулировать очереди и уменьшить заторы. Предупредить пассажира, что он опаздывает на рейс. В случае опоздания пассажира его багаж не станут загружать в самолет, и он не улетит без хозяина.

Приложение было запущено в 2017 году и пришлось по вкусу многим пользователям. Только за первые два месяца приложение установили 50000 раз. Приложение было удостоено наград «Мобильные инновации года» и «Мобильное приложение года». Сам аэропорт получил премию «Облачный проект года» и «Real IT» [9].

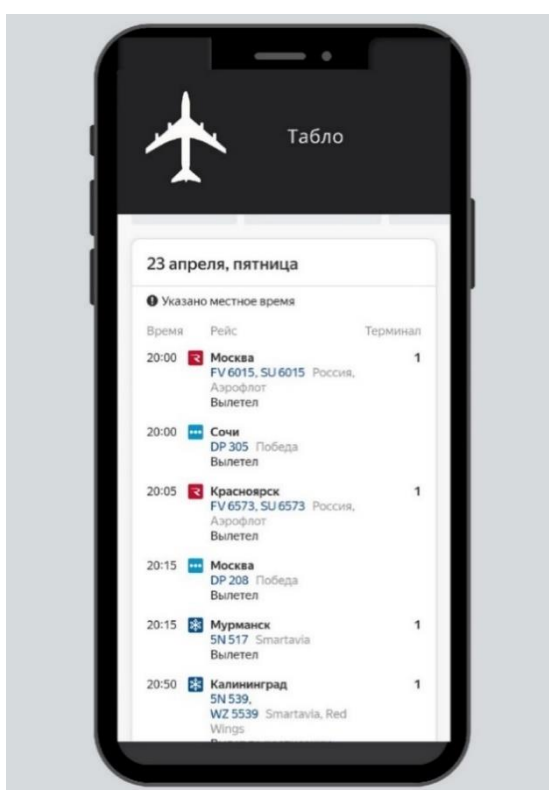


Рис.7. Интерфейс раздела с функцией онлайн-табло

### Посадочный талон на экране телефона

Во многих Европейских авиакомпаниях процесс регистрации на рейс уже давно был максимально упрощён. В привычном понимании стоек регистрации и очередей был упразднён вовсе. Печатные посадочные талоны никто не использует, а регистрация на рейс проходит двумя способами – онлайн бесплатно и в аэропорту за определенный сбор порядка 8-13 евро за человека.

У каждой компании есть свои нюансы регистрации. Например, у Ryanair зарегистрироваться на рейс онлайн можно за 2-48 часов до вылета, если Вы не оплачивали места при бронировании. Если Вы желаете выбирать определенное место, тогда регистрация на рейс доступна за 20 дней до рейса с выбором места за дополнительную плату. Если Вы не готовы платить за выбор места, вам автоматически его назначит программа и пришлет на электронную почту после регистрации «посадочный талон» в электронном виде [10].

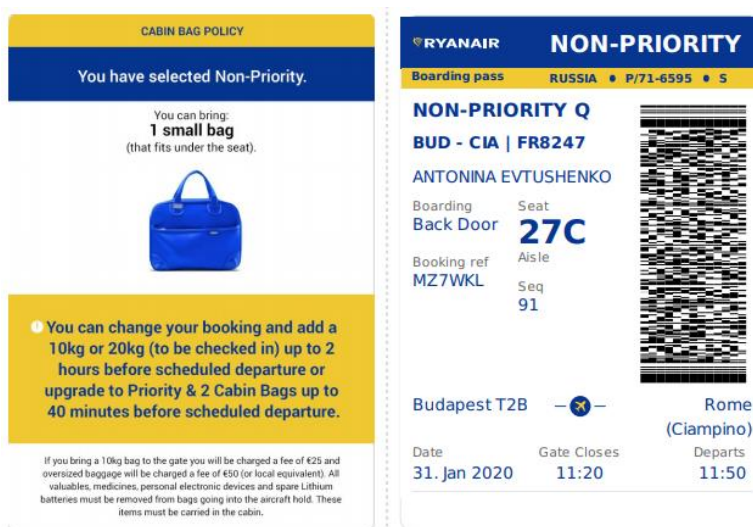


Рис. 8. Пример посадочного талона Венгрия

Правда, при получении такого посадочного нужно проявить некоторую самостоятельность. Будьте готовы, что в аэропорту никто не объявит по громкой связи, что Вы опаздываете, выход на посадку придется выяснять самостоятельно на общем табло. Чтобы пройти необходимый контроль печатать данный талон не нужно, достаточно отсканировать его с экрана телефона.

В России все больше городов переходят на электронные посадочные. Пройти на посадку с мобильным посадочным, не распечатывая его, можно в аэропортах Барнаула, Екатеринбурга, Казани, Красноярска, Нижнего Новгорода, Нового Уренгоя, Омска, Ростова-на-Дону, Самары, Саратова, Симферополя, Сургута, Тюмени, Уфы, Петропавловска-Камчатского и Челябинска. А также в Домодедово (Москва), кроме перелетов в Ош и Худжанд— на этих рейсах без бумажного посадочного не обойтись [11].

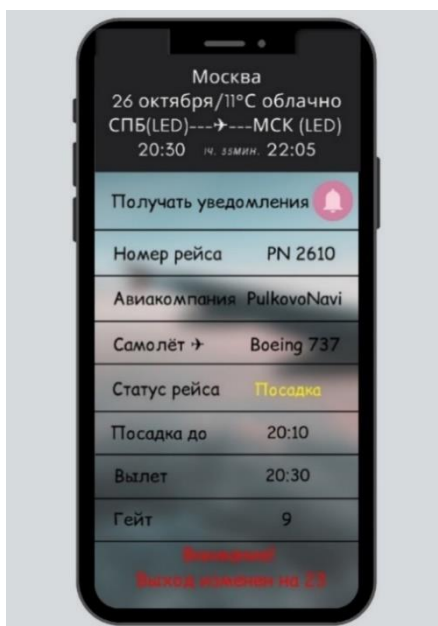


Рис. 9. Оконная форма приложения с информацией о рейсе

В этом же разделе можно получить QR-код для прохождения предполетных процедур.

По данным официального сайта Пулково за 2019 г. пассажиропоток аэропорта составил примерно 19581 тыс. человек. Это означает что было распечатано 19581 тыс. посадочных талонов



[12].

Один лист А4 вмещает примерно 3 посадочных талона.

$19\ 581\ \text{тыс} / 3 = 6527\ \text{тыс}$  листов А4 потребляется для печати посадочных талонов.

Для изготовления одного листа бумаги формата А4 требуется 13-21 грамм древесины, для примерного расчёта возьмем максимальную плотность, так как посадочные талоны изготовлены из достаточно плотной бумаги:[13]

$6527\ \text{тыс} * 21\ \text{грамм} = 137\ 067\ \text{тыс грамм} = 137\ \text{тонн бумаги}$ .

Таким образом, возможно сократить потребление 137 тонн бумаги в год путем внедрения электронных посадочных билетов и соответствующих стоек, позволяющих их использование.

### **Сдача багажа**

Если вы воспользовались электронной регистрацией, но у Вас есть багаж, который необходимо сдать, воспользуйтесь стойками самостоятельной сдачи багажа, просто отсканировав QR-код.



Рис.10. Оконная форма раздела сдачи багажа

### **Чат-бот**

Если вдруг Вам слишком лениво смотреть на табло или, наоборот, хочется с кем-то пообщаться в Саратове, для пассажиров аэропорта Гагарин работает Gagarin Airport Bot в мессенджерах Viber и Facebook [11]. «Поговорив» с чат-ботом, можно узнать:

- номер рейса,
- информацию об авиакомпаниях,
- о самолетах, выполняющих рейс,
- время прибытия и вылета,
- номера нужных стоек регистрации,
- номер выхода на посадку,
- время начала/окончания регистрации,
- время начала/окончания выхода на посадку,
- уведомления о каких-либо изменениях, касаемых рейса.



А европейские чат-боты различных авиакомпаний могут даже помочь в заказе билета на рейс. Использование ботов помогает авиакомпаниям снять часть нагрузки со справочных центров [11].

Таблица 3– Оконная форма раздела Связь приложения и описание блока.



Чат бот для любителей пообщаться кроме сухой информации, которую можно узнать из табло или других разделов приложения, расскажет и интересные факты, поможет советом для тех, кто боится летать, расскажет за сколько лучше подъехать в аэропорт, какие требования эпидемиологической безопасности необходимо соблюдать при перелете. В общем, станет «тем самым другом, который много раз летал» и всегда поможет советом.

Главной изюминкой является не то, что вы можете связаться с сотрудником. Но и то, что сотрудник теперь с помощью приложения сможет связаться с Вами посредством приложения, если вы прошли все необходимые процедуры, но прослушали объявление по громкой связи о начале посадки.

### Функция транспортной навигации

Функция транспорта от аэропорта поможет туристам сориентироваться в том, как добраться до города. На данный момент выбор ограничен только такси или автобусом. Однако на проектах перспективной схемы метро уже появилась ветка ведущая до аэропорта.

Этот раздел поможет не растеряться по прибытии в Санкт-Петербург, поможет выбрать транспорт и расскажет о способах оплаты.

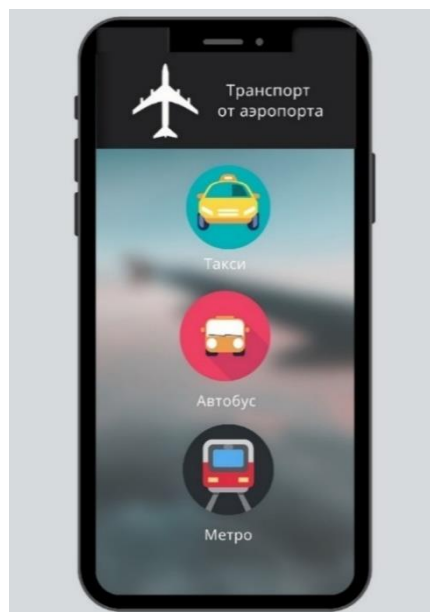


Рис.11.Оконная форма раздела транспорта

### Таможенный контроль

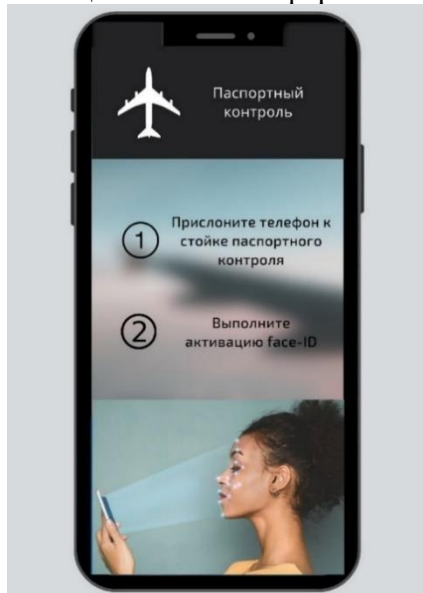
После выпуска смартфонов со встроенной технологией Face ID пользователи начали проводить всевозможные эксперименты. Было установлено, что обмануть датчик достаточно сложно, он не



реагирует на фотографии и лицо спящего хозяина.

Компания Apple заверила своих потенциальных покупателей, что шанс ошибки при разблокировании телефона составляет миллионную долю процента [14].

Таблица 4 –Оконная форма интерфейса приложения и описание блока



Процесс паспортного контроля предлагается вывести на новый уровень.

Вашу личность теперь сможет подтвердить телефон.

Для этого Вам необходимо будет внести в программу паспортные данные и снять биометрические данные в специальном отделе.

После этого проходить паспортный контроль вы сможете на автономной стойке с помощью мобильного телефона. Таким образом Ваши данные не потребуют передачи в сторонние базы данных.

Face-ID – технология распознавания лица путем запоминания расстояния между 30 000 точек, проецируемых на лицо инфракрасным излучателем. Технологию разработала компания Apple и представила в 2017 году.

### Дополнительные услуги

Помимо основных разделов имеется отдел дополнительных услуг. В приложении можно:

- заказать еду на борт. Для людей с особыми системами питания (веганство, вегетарианство, кашрут, аллергии и прочее) или для тех, кто хочет заказать дополнительное питание;
- доплатить за багаж, если его габариты или вес превышают параметры, предусмотренные в билете;
- если Вы не смогли найти свой багаж на ленте при получении для Вас в приложении имеется услуга поиска багажа;
- выбрать место в салоне самолета за дополнительную плату;
- воспользоваться услугой шопинга на борту самолета;
- воспользоваться капсульным отелем в здании аэропорта;
- осуществить обмен/возврат билета при необходимости.



Рис.12. Интерфейс раздела с дополнительными услугами

### Заключение

Ежегодно в аэропортах внедряются новые технологии, позволяющие ускорить процесс прохождения предполётных процедур. Повышение эффективности и оперативности обслуживания авиапассажиров и их багажа лежит в основе модернизации терминалов аэропортов. Реализация этих задач базируется на грамотном проекте, внедрении современных IT-решений и технологического оборудования.

Внедрение приведенного приложения позволит повысить эффективность операционной деятельности аэропорта, увеличить скорость (и одновременно снизить стоимость в дальнейшей перспективе) обслуживания пассажиров, а также повысить пропускную способность и обеспечить дополнительную безопасность работы воздушной гавани.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. GooglePlay: Apper. [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3ojlN6t> (дата обращения: 21.04.2021).
2. Бышонков Д.А. Применение AR-технологий в дополненной реальности/ Бышонков Д.А., Плетнева Н.А.// Материалы научной конференции Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого – Санкт-Петербург- 2017 г. С 293-295.
3. Денисова Т.С. Обзор VR/AR технологий и эффекты от их развития в РФ / Денисова Т.С., Осипов А.А.// Журнал «Молодежная школа-семинар по проблемам управления в технических системах имени А.А. Вавилова – Санкт-Петербург – 2020 г. С 8-11.
4. Свищев А.В. Применение технологии дополненной реальности в сфере навигации внутри здания/ Свищев А.В., Дульнев В.В. // Журнал «COLLOQUIUM-JOURNAL» - Санкт-Петербург 2020 г. 9с
5. VRGeek: AR-приложение от Gatwick было удостоено награды. [Электронный ресурс]. — URL: <https://bit.ly/3hnunQm> (дата обращения: 10.04.2021).
6. 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.
7. Ассоциация туроператоров: Вестник АТОР [Электронный ресурс]. –



URL: <https://bit.ly/33kj9O> (дата обращения: 21.04.2021).

8. Википедия: Свободная энциклопедия. Flight information display system. [Электронный ресурс]. –URL: <https://bit.ly/3yfwWtC> (дата обращения: 10.04.2021).
9. 3DNEWS: Аэропорт Gatwick запустил внутреннюю систему навигации для пассажиров. [Электронный ресурс]. –URL: <https://3dnews.ru/952832> (дата обращения: 11.04.2021).
10. Авиакомпания Ryanair: информация для пассажиров. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ryanair.com/lv/en/> (дата обращения: 11.04.2021).
11. Справочный центр S7 Airlines: Регистрация на рейс. [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3f0z3cd> (дата обращения: 27.04.2021).
12. Аэропорт Пулково: Показатели аэропорта [Электронный ресурс]. –URL: <https://bit.ly/3wcFuj5> (дата обращения: 25.04.2021).
13. Яндекс Дзен: Сколько дерева используется на производство одного листа А4? [Электронный ресурс]. –URL: <https://bit.ly/33ilVJP> (дата обращения: 25.04.2021).
14. Википедия: Свободная энциклопедия. Face-ID. [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3hrybQw> (дата обращения: 10.04.2021).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Евтушенко Антонина Евгеньевна** —

магистр

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

E-mail: [Eae\\_1101@mail.ru](mailto:Eae_1101@mail.ru)

**Кропанёва Мария Александровна** —

бакалавр

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

E-mail: [marusiayd@mail.ru](mailto:marusiayd@mail.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Evtushenko Antonina Evgenievna** —

master

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

E-mail: [Eae\\_1101@mail.ru](mailto:Eae_1101@mail.ru)

**Kropanyova Maria Alexandrovna** —

bachelor

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

E-mail: [marusiayd@mail.ru](mailto:marusiayd@mail.ru)



УДК 629.735.33

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-97-103

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОЙ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ

**Ю. А. Силин**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье кратко рассмотрены возможности применения квадрокоптеров для доставки различных грузов и приведены примеры компаний, занимающихся разработками в данной сфере. Для практической реализации доставки грузов был реализован портативный автономный модуль, способный поддерживать заданную температуру в течение определённого времени. Лучшим вариантом является использование для охлаждения элемента Пельтье, так как он является достаточно компактным.*

*Ключевые слова: квадрокоптеры, доставка грузов, организация доставки, контейнер для доставки грузов, элемент Пельтье.*

**Для цитирования:**

*Силин Ю. А. Разработка охлаждающего контейнера способного поддерживать заданную температуру при транспортировке // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 97-103. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-97-103.*

## DEVELOPMENT AND RESEARCH OF OPERATING MODES OF AN AUTONOMOUS THERMOREGULATION SYSTEM FOR THE TRANSPORTATION OF SMALL-SIZED CARGO

**Y. A. Silin**

State University of Aerospace Instrumentation

*The article briefly discusses the possibilities of using quadcopters for the delivery of various goods and provides examples of companies engaged in development in this area. For the practical implementation of cargo delivery, a portable autonomous module was implemented, capable of maintaining a set temperature for a certain time. The best option is to use the Peltier element for cooling, as it is quite compact.*

*Key words: quadcopters, cargo delivery, organization of delivery, container for cargo delivery, peltier element.*

**For citation:**

*Silin Y. A. Development of a cooling container capable of maintaining a set temperature during transportation // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI, 2021 – p. 97-103. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-97-103.*

### Введение

В современном мире зачастую появляется потребность в быстрой доставке по городу или в труднодоступные места. Самым оптимальным и быстрым способом является доставка по воздуху при помощи беспилотного летательного аппарата. Многие крупные компании уже давно заинтересованы в беспилотной доставке по воздуху. К примеру, компания DHL занимается разработкой дронов, которые смогут осуществлять доставку небольших грузов в черте города, на большие расстояния и в труднодоступные места.

Беспилотная авиадоставка наиболее востребована для следующих типов грузов:

- биологические материалы, вакцины, медикаменты или питание в клиники, больницы или непосредственно пострадавшим от стихийных бедствий [1];
- доставка почты, товаров и других небольших грузов [1];
- доставка товаров из магазинов (включая еду и напитки).

Американская компания Zipline занимается доставкой крови, замороженной плазмы, вакцин, противоядий, средств индивидуальной защиты в удалённые регионы Африки и Индии. Американские летательные аппараты позволили охватить свыше 8 миллионов пациентов и



пересмотреть подход к оказанию медицинских услуг в ряде населенных пунктов [2]. Ниже будет представлено описание основного типа контейнера, при помощи которого происходит транспортировка.

### Принцип работы беспилотной авиадоставки

- 1) Квадрокоптер получает информацию о доставке (например, информацию о грузе, информацию о местоположении груза и / или информацию о месте доставки).
- 2) Автономно или полуавтономно получает груз из места хранения и доставляет по воздуху к месту назначения.
- 3) При достижении места доставки квадрокоптер исследует поверхность в зоне выгрузки для безопасной посадки, осуществляет посадку отпускает груз, и возвращается на базовый пункт обработки или в другое место для получения следующего груза, подзарядки и т.д.

В случае успешной посадки квадрокоптер может запомнить пройденный маршрут для того, чтобы в случае повторной доставки потратить меньше времени на исследование поверхности в зоне выгрузки и составление наиболее оптимального маршрута.

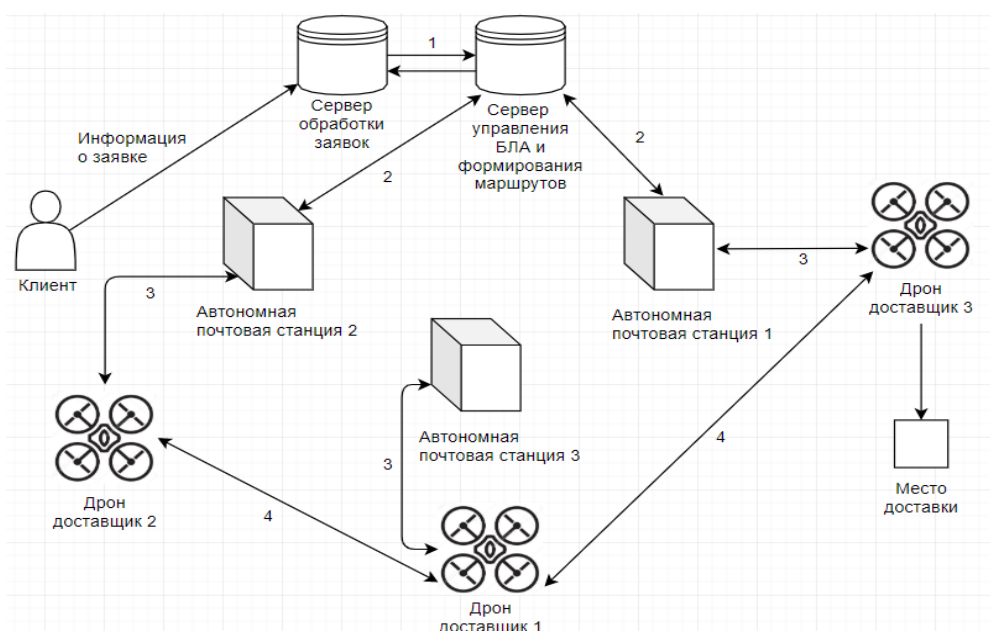


Рис. 1. Схема обработки заявки по доставке груза

### Практическая реализация доставки грузов при помощи дронов в контейнере

Для реализации доставки медикаментов необходимо разработать специальный контейнер, который будет иметь сравнительно небольшую массу и возможность поддерживать поставленный температурный режим в течение заданного времени. Самый рациональный способ для транспортировки такого модуля – транспортировка при помощи квадрокоптера. Квадрокоптер, в отличие от распространенных беспилотников самолётного типа, имеет следующие отличительные преимущества: возможность маневрирования на низких скоростях, возможность зависнуть на месте, возможность вертикального взлёта и посадки, а также отсутствие необходимости наличия специальных взлётно-посадочных установок. Данные преимущества являются ключевыми для осуществления доставки в городской среде, так как во время полёта может потребоваться маневрирование в узких местах между зданиями, а также может быть необходимо совершить точную доставку (к примеру, в здание больницы или к месту чрезвычайного происшествия), осуществить которую беспилотник самолётного типа не в состоянии, так как при достижении заданной точки груз сбрасывается на парашюте.

подавляющее большинство грузов, доставляемых дронами компании Zipline, требуют



поддержания низких температур, что создаёт необходимость использования контейнера, который может это обеспечить. Данная компания использует для доставки таких грузов картонные контейнеры, наполненные сухим льдом. Такой способ имеет следующие существенные недостатки: отсутствие возможности регулирования температуры, что может привести к переохлаждению груза, и выделение большого объёма углекислого газа при таянии сухого льда, который может испортить некоторые доставляемые грузы. Поэтому реализуемым модулем в качестве охлаждающего элемента было решено использовать элементы Пельтье, так как они имеют небольшой размер, и их работа может регулироваться.

Сборка модуля осуществлена на базе одноплатного компьютера RaspberryPi 3 ModelB+. Охлаждение модуля происходит при помощи двух элементов Пельтье, на каждом из которых установлен алюминиевый радиатор и вентилятор для повышения эффективности охлаждения. Данные о температуре поступают в RaspberryPi 3 ModelB+ от датчика температуры, который установлен в грузовом отсеке. Регулировка температуры в грузовом отсеке будет происходить при помощи лопасти, установленной на сервопривод, который управляется при помощи RaspberryPi. У лопасти имеется два крайних положения:

- 1) Нагретый воздух от радиаторов будет отводиться наружу (во время охлаждения);
- 2) Нагретый воздух от радиаторов будет поступать в грузовой отсек если температура в нём опустилась слишком низко.

### Описание электронных компонентов

Электронные компоненты: одноплатный компьютер RaspberryPi 3; элементы Пельтье TEC1-12703 – 2шт; DC-DC преобразователи – 4 шт; сервопривод MG90S – 1шт; вентиляторы – 2шт; датчик температуры DS18B20 – 1шт.

В таблице 1 представлены технические характеристики электронных компонентов [3].

Таблица 1 – Технические характеристики RaspberryPi 3 ModelB+

1	Процессор	64-битный четырёхъядерный ARM Cortex-A53 с тактовой частотой 1,4 ГГц на однокристальном чипе Broadcom BCM2837
2	оперативная память	1ГБ LPDDR2 SDRAM
3	цифровой видеовыход	HDMI
4	композитный выход	3,5 мм (4 pin)
5	USB порты	4× USB 2.0
6	беспроводная сеть	WiFi 2,4/5 ГГц, 802.11n
7	Ethernet	10/100/1000 M6 RJ45
8	Bluetooth	Bluetooth 4.2, Bluetooth Low Energy
9	разъем дисплея	Display Serial Interface (DSI)
10	разъем видеокамеры	MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
11	карта памяти	MicroSD
12	порты ввода-вывода	40
13	габариты	85x56x17 мм

Таблица 2 – Технические характеристики Пельтье TEC1-12703 [4]

1	Рабочее напряжение макс.	15,4В
2	Рабочий ток макс.	3А
3	Внешние размеры	40x40x4,7мм
4	Производительность макс.	38Вт



5	Материал	Al2O3
6	Длина провода	150мм
7	Материал контакта	BiSn
8	Разница температур макс.	68°C
9	Сопротивление	3,2Ом

Таблица 3 – Технические характеристики DC-DC преобразователя

1	Вес	12 г
2	Размер	48*26*13 мм (Д * Ш * В)
3	Диапазон входного напряжения	5,0-25 В
4	Диапазон выходного напряжения	0,5-25 В
5	Непрерывный выходной ток	3А (макс.)
6	Непрерывный входной ток	3А (макс.)
7	Входная/Выходная мощность	30 Вт (макс.)

Таблица 4 – Технические характеристики датчика температуры DS18B20 [5]

1	Диапазон измеряемых температур	-55...+125 °С
2	Точность	±0,5°C (в пределах -10...+85°C)
3	Время получения данных	750 мс при 12-битном разрешении; 94 мс при 9-битном разрешении
4	Напряжение питания	3-5,5 В
5	Потребляемый ток при бездействии	750 нА
6	Потребляемый ток при опросе	1 мА

### Описание конструкции контейнера

Конструкция модуля без электронных компонентов состоит из следующих пяти элементов:

Элемент 1 – грузовой отсек (рисунок 2): объём отсека 1000 см<sup>3</sup>

Элемент 2 – корпус (рисунок 3): имеет 2 гребня по бокам, которые вставляются в пазы грузового отсека при сборке. На корпус устанавливается RaspberryPi, элементы Пельтье, радиаторы и кулеры.

Элемент 3 – крышка: на неё устанавливаются DC-DC преобразователи и сервопривод с лопастью.

Элемент 4 – лопасть: устанавливается на сервопривод. Служит для регулировки направления потока нагретого воздуха.

Элемент 5 – упор: служит для закрепления грузового отсека на корпусе.

Элемент 6 – крышка: служит для защиты электронных компонентов от внешних воздействий.

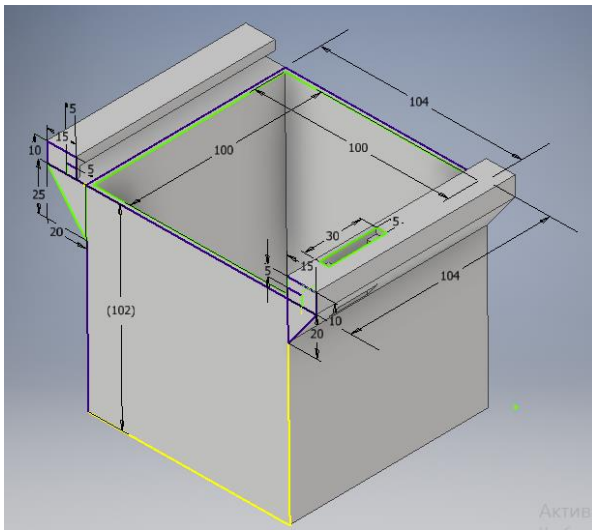


Рис. 2. Грузовой отсек

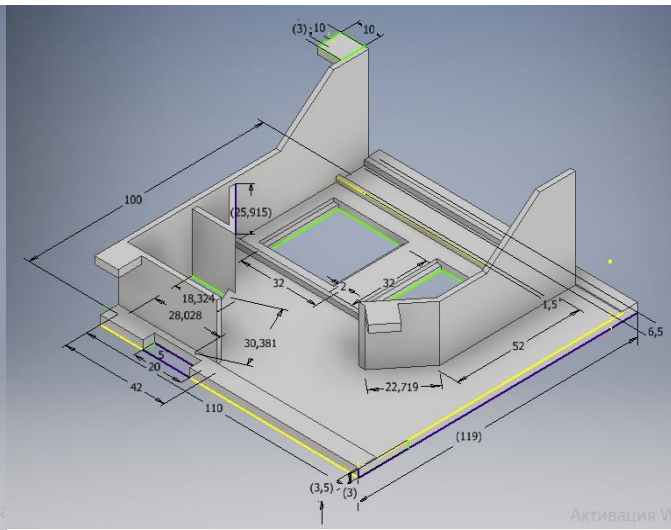


Рис. 3. Корпус

На рисунке 4 представлен собранный вариант контейнера для перевозки грузов.



Рис. 4. Опытный образец контейнера для перевозки грузов

### Результаты лабораторных испытаний

В рамках лабораторных испытаний были измерены основные показатели работы данного устройства. На рисунках 5 и 6 показаны результаты работы контейнера.

Графики потребления силы тока  $I[A]$  и мощности  $P[Вт]$ :

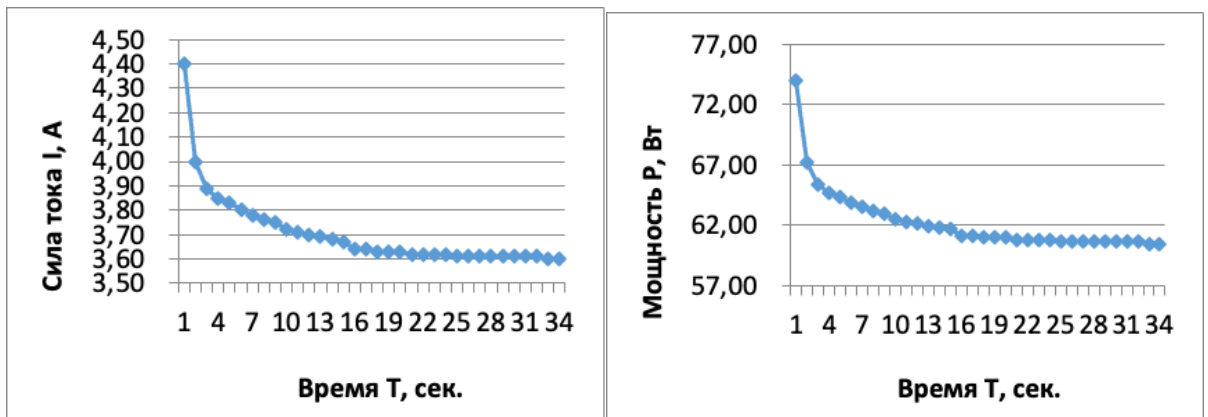


Рис. 5. Графики потребления силы тока  $I$ [А] и мощности  $P$ [Вт]

График изменения температуры  $t$  [°C] охлаждающейся части элемента Пельтье:

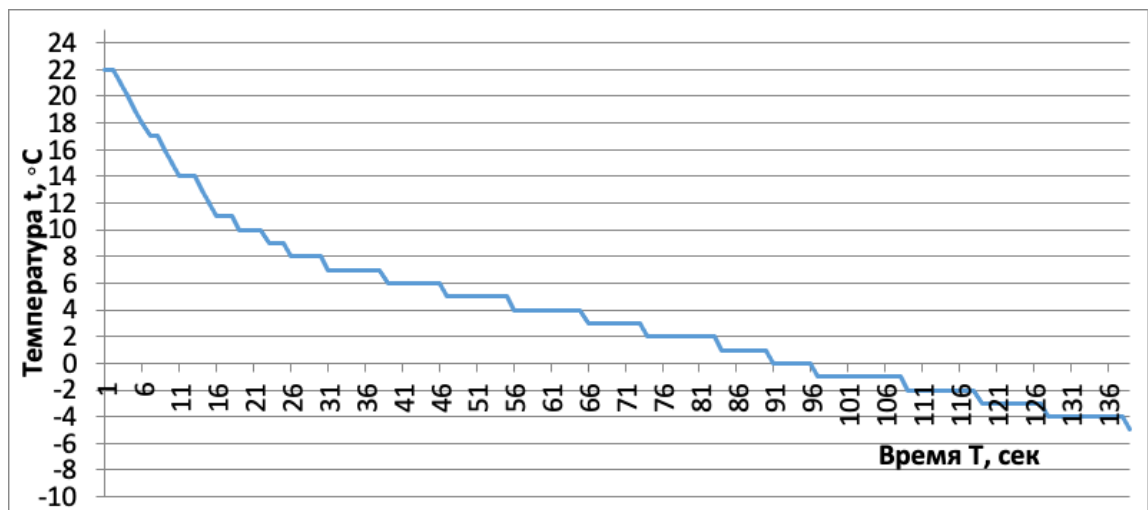


Рис. 6. График изменения температуры  $t$  [°C] охлаждающейся части элемента Пельтье

График изменения температуры в грузовом отсеке при заданной температуре 15°C:

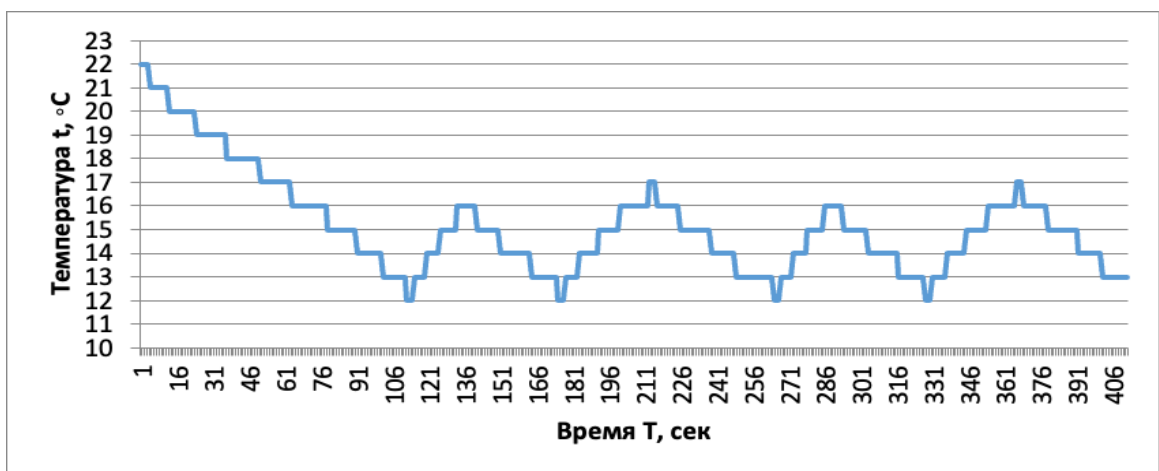


Рис. 7. График изменения температуры в грузовом отсеке при заданной температуре 15°



Формула дисперсии  $D = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$ , где  $n$  – число измерений, а  $\bar{X}$  среднее арифметическое

значение  $n$  измерений. Значение дисперсии: 4,266°С.

Формула среднеквадратического  $S = \sqrt{D}$ . Значение среднеквадратического отклонения: 2,065°С.

### Заключение

В рамках разработки контейнера с возможностью задавания определенной внутренней среды для квадрокоптера с целью доставки грузов, был реализован прототип, который выполняет поставленную задачу, имеет возможность программным образом управляться и поддерживать заданную среду оператором.

Однако данный прототип имеет возможность для дальнейших доработок, в частности вместо того, чтобы перераспределять нагретый от радиаторов воздушный поток в отсек с грузом, можно установить программируемое реле, которое позволит включать и выключать элементы Пельтье. Необходимо будет установить термоизоляцию для существенного повышения эффективности. Есть возможность оптимизировать расположение электронных компонентов контейнера, с целью повышения эффективности отвода тепла. В дальнейшем нужно заменить разъем XT60 для питания электронных компонентов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доставка беспилотниками грузов [Электронный ресурс] // Robo Trends. – URL: <https://bit.ly/2Rcvac1> (дата обращения: 31.03.2021).
2. Ziplinedelivery [Электронный ресурс] // Bloomberg. – URL: <https://flyzipline.com/> (дата обращения: 31.03.2021).
3. Микрокомпьютер RaspberryPi 3 Model B+ [Электронный ресурс] // Amperka. – URL: <https://bit.ly/3w7Rfrg> (дата обращения: 31.03.2021).
4. Герметичный датчик температуры DS18B20 [Электронный ресурс] // Amperka– URL: <https://bit.ly/3fdkSAk> (дата обращения: 31.03.2021).
5. TEC1-12703 [Электронный ресурс] // Transfer Multisor tElektronik Sp. z o.o.– URL: <https://bit.ly/2QiJtvc> (дата обращения: 31.03.2021).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Силин Юрий Андреевич** –

бакалавр кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

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

E-mail: [foto2001u@mail.ru](mailto: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

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

E-mail: [foto2001u@mail.ru](mailto:foto2001u@mail.ru)



УДК 656.021.2

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-104-113

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ ПРИЧАЛОВ МОРСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОРТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

**М. Р. Язвенко**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В данной статье представлено исследование загруженности причалов морского пассажирского порта Санкт-Петербурга. На основании данных расписания заходов был проведен анализ судов, заходивших в порт в 2019 году, а также загруженности отдельных причалов. По данным 2019 года был проведен анализ порта как системы массового обслуживания по закону Эрланга.*

*Ключевые слова: морской пассажирский терминал, загруженность причалов, моделирование, система массового обслуживания, закон Эрланга.*

### **Для цитирования:**

*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.*

## RESEARCH OF BERTHS UTILIZATION AT SEA PASSENGER PORT ON THE BASIS OF MODELING

**M. R. Yazvenko**

State University of Aerospace Instrumentation

*This article presents an analysis of the berths utilization at the sea passenger port of St. Petersburg. Based on the data from the schedule, an analysis was carried out of the vessels that entered the port in 2019, as well as the load of individual berths. Based on 2019 data, the passenger port was analyzed as a queuing system using Erlang's law.*

*Key words: sea passenger terminal, ferry transportation, berths load, modeling, queuing system, Erlang's law.*

### **For citation:**

*Yazvenko M. R. Research of berths utilization at sea passenger port on the basis of modeling // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 104-113. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-104-113.*

### **Введение**

Сфера круизных паромных перевозок в последние годы стремительно развивается, и круизы становятся одной из популярнейших форм туризма во всём мире. Санкт-Петербург признан одним из красивейших городов Европы, из-за чего потоки туристов продолжают увеличиваться с каждым сезоном. Поскольку объёмы перевозок будут только расти, исследование потока судов и загруженности порта является актуальным.

### **Анализ потока судов с 2015 по 2019 год**

Пассажирский Порт Санкт-Петербург – первый и единственный в Северо-Западном регионе России специализированный пассажирский порт, расположенный в Санкт-Петербурге на намывных территориях Васильевского острова. 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 [2].

На официальном сайте порта имеется отдельная страница, на которой представлены расписания судозаходов с 2009 по 2019 год [3]. На данный момент, последние суда прибывали по расписанию в 2019 году, поскольку в 2020 году из-за глобальной пандемии коронавируса порт не принял ни единого судна. В период с 2015 по 2019 год порт посетило 107 различных паромов и



лайнеров, а число заходов судов достигло 1223. В таблицу 1 занесена статистика судозаходов по каждому месяцу, в который осуществлялась навигация в 2015-2019 годах.

Таблица 1 – Статистика судозаходов с 2015 по 2019 год

	2015	2016	2017	2018	2019
Апрель	0	0	0	1	1
Май	35	36	42	47	47
Июнь	54	44	57	63	54
Июль	60	61	68	54	68
Август	54	45	56	65	58
Сентябрь	22	20	21	34	31
Октябрь	4	3	5	7	7
Ноябрь	0	0	0	0	0
Декабрь	1	0	0	0	0
Всего	230	209	249	270	265

Из таблицы сразу виден сезонный характер потока судов с резким увеличением к лету. Каждый год навигация проводится с конца апреля до второй половины октября. Из таблицы можно заметить, что сезонный пик в каждом году приходится на июль, за исключением 2018 года. В 2018 наблюдался спад относительно июня и августа за счёт повышенного количества судов в эти месяцы.

В состав морского терминала входят 7 причалов, предназначенных для швартовки и стоянки круизных и паромных судов. Порт может принимать пассажирские круизные и паромные суда длиной до 340 метров, шириной до 42 метров и осадкой до 8,8 метров. Характеристики причалов указаны в таблице 2, а схема расположения – на рисунке 1 [2].

Таблица 2 – Характеристики причального фронта порта.

№ причала	Длина причального фронта, м.	Ширина причала, м.	Высота причала над уровнем воды, м.	Проектная глубина у причала, м.	Принимаемые суда	Период эксплуатации причала
1	375	15	3,2	10,7	Круизные	Летняя навигация
2	218	15	3,2	10,7	Круизные и паромные	Круглогодично
3	269	15	3,2	10,7	Круизные и паромные	Круглогодично
4	271	15	3,2	10,7	Круизные	Летняя навигация
5	270	15	3,2	10,7	Круизные	Летняя навигация
6	288	15	3,2	10,7	Круизные	Летняя навигация
7	375	15	3,2	10,7	Круизные	Летняя навигация

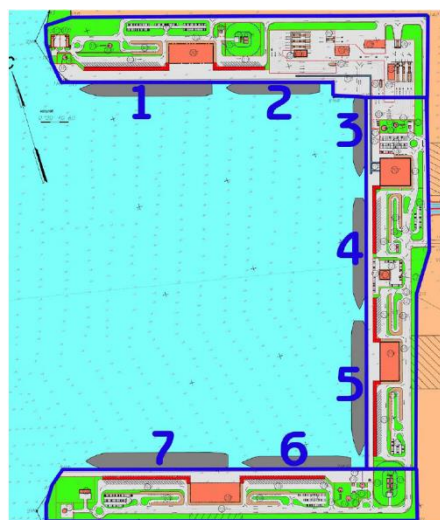


Рис. 1. Схема расположения причалов

### Исследование работы порта за 2019 год

В пассажирский порт за 2019 год заходили суда различных типов и размеров: от самых маленьких, длиной до 170 метров, до огромных 330-метровых лайнеров. Несколько посещавших порт лайнеров входят в рейтинг 50 самых больших лайнеров по длине. Это MSC Preziosa, MSC Fantasia, Britannia, Royal Princess, Regal Princess, Norwegian Getaway, Norwegian Breakaway, Celebrity Reflection, Celebrity Eclipse [4]. Помимо этих судов в предыдущие года порт посещали паромы-парусники Wind Surf и Sea Cloud 2, но не в 2019-м. На основе анализа размеров всех судов, заходивших в акваторию порта, можно составить диаграмму распределения их размеров. Сортировка будет производиться в соответствии с нормативными длинами причалов из таблицы 2.

Распределение заходов по размерам

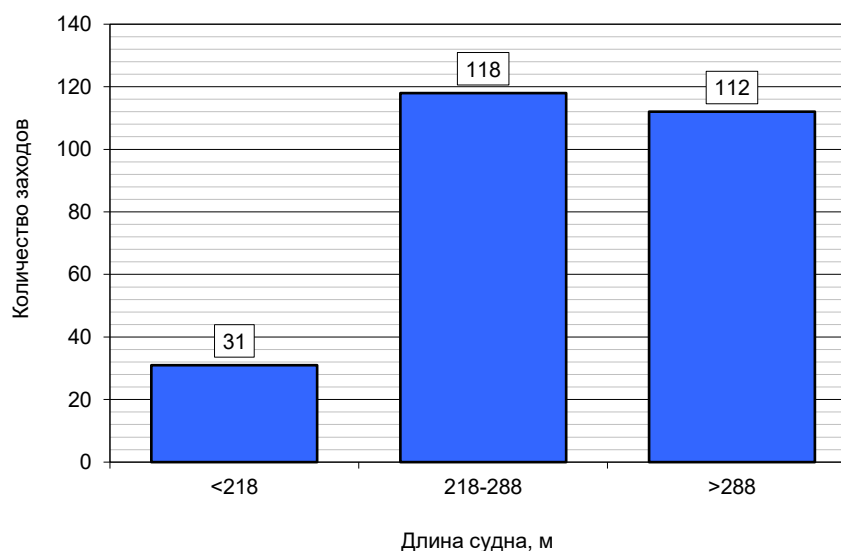


Рис. 2. Распределение судозаходов по размерам судов

Из диаграммы видно, что большинство судов имело длину свыше 218 метров, почти половина из которых – свыше 288 метров. Вследствие этого должна проявляться повышенная нагрузка на 1 и 7 причалы. К тому же, эти причалы расположены ближе всего к морю, что упрощает маневровые



работы. Это подтверждается диаграммой распределения судов по причалам, представленной на рисунке 3. В действительности, крупные суда при занятости 1 и 7 причалов швартуются на 3 и 5, при этом порт жертвует вместительностью 4-го. В такой конфигурации можно разместить в порту наибольшее число крупных лайнеров. Причал под номером 4 крайне редко принимает суда, всего 3 за весь 2019 год.

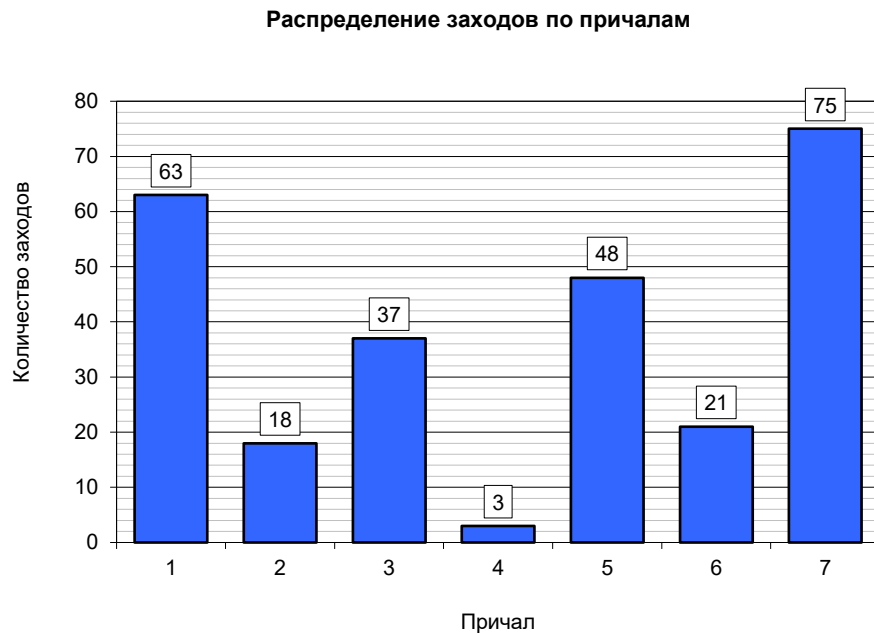


Рис. 3. Распределение судозаходов по причалам

Помимо анализа потока судов важен анализ времени, которое суда проводят на причалах. Поскольку все судовладельцы заранее договариваются с портом о продолжительности своего визита, время не ограничивается длительностью посадки-высадки пассажиров и коммерческими операциями по обслуживанию судна. Поскольку сфера круизных перевозок – это сфера туризма и развлечений, некоторые перевозчики предлагают экскурсии своим пассажирам по городам остановки [5]. Поэтому многие паромы задерживаются на большее время, чем длительность обслуживания. Распределение времени стоянки судов в 2019 году можно свести в диаграмму, представленную на рисунке 4.



Распределение времени стоянки

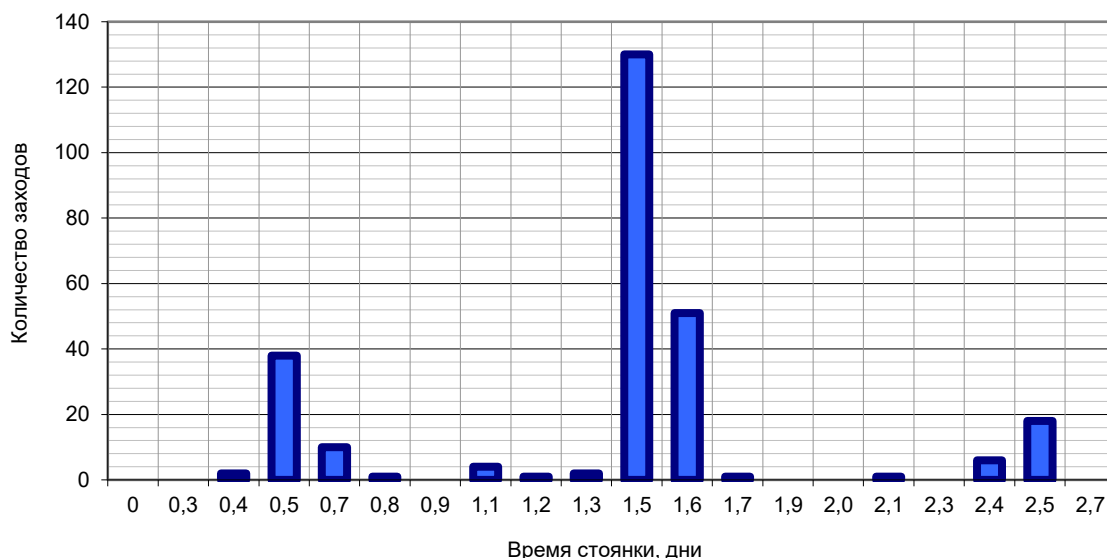


Рис. 4. Распределение времени стоянки судов

Из диаграммы распределения можно отметить, что, как правило, суда проводят в порту или полдня, или полтора дня, или два с половиной. Подавляющее большинство судов обслуживается полтора дня. Расчёт по этим данным даёт среднее время стоянки в 1,36 дня.

На основе данных таблицы 1 и расписания прибытий [3] можно провести моделирование пассажирского порта как системы массового обслуживания и исследовать загруженность по закону Эрланга.

### Моделирование работы порта как системы массового обслуживания.

Системы массового обслуживания (СМО) – это такие системы, в которые в случайные моменты времени поступают заявки на обслуживание, при этом поступившие заявки обслуживаются с помощью имеющихся в распоряжении системы каналов обслуживания [6].

Заявкой является определённый запрос, который необходимо обслужить силами и средствами системы. Последовательность поступающих заявок формирует входящий поток. Набор ресурсов, способный обслужить одну заявку, называется каналом системы. Считается, что время обслуживания в сложных системах носит случайный характер, поскольку каналы обслуживают разные заявки за разное время. Оно зависит от свойств и запросов самой заявки, и свойств канала [6].

Считается, что поток судов является простейшим и подчиняется Пуассоновскому распределению [7, 8]. Пуассоновский поток заявок обладает следующими признаками:

1. Стационарность – вероятность появления какого-либо числа заявок на определённом отрезке времени, зависит только от длины этого самого отрезка.
2. Ординарность – в любой момент времени в систему поступает только одна заявка, поскольку вероятность появления более одного события пренебрежимо мала.
3. Отсутствие последействия – все заявки приходят в систему независимо друг от друга.

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



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

Общая схема многоканальных СМО представлена на рисунке.

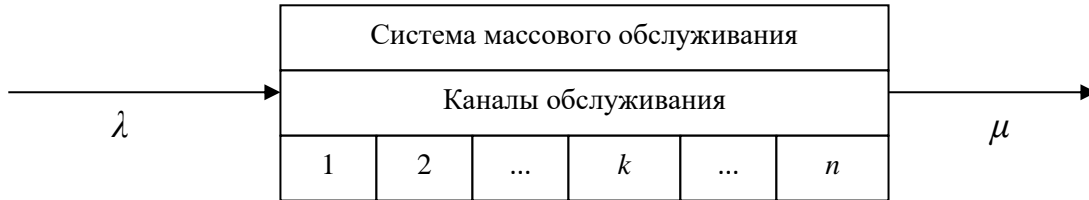


Рис. 5. Общая схема многоканальных СМО

На рисунке:  $\lambda$  – количество заявок, поступающих за единицу времени (плотность входного потока)

$$\lambda = \frac{N}{T}$$

где  $N$  – количество заявок, поступившее за время  $T$ .

В состоянии системы  $S_0$  все каналы обслуживания свободны. В состояниях  $S_k$  (где  $k$  от 1 до  $n$ ) обслуживанием заявок заняты  $k$  каналов, но не все  $n$  каналов. Переход из одного состояния в другое происходит скачкообразно под воздействием входящего потока заявок, интенсивность которого  $\lambda$ . Отказ в обслуживании будет наступать в случае занятости всех каналов. Состояние системы обслуживания при неравномерном потоке будет описываться формулой Эрланга следующего вида [7]:

$$P_k = \frac{\frac{1}{K!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^K}{1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{1}{2!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n} \quad (1)$$

В формуле:  $P_k$  – это вероятности занятости  $k$  каналов обслуживания. Вероятность, что все каналы будут свободны –  $P_0$ . Вероятность, что все каналы заняты –  $P_n$ .

Отказ наступает, когда заняты все  $n$  мест в системе, т.е. система находится в состоянии  $S_n$ :

$$P_{отк} = P_n.$$

Среднее количество занятых каналов определяется по формуле:

$$\bar{n} = \sum p_k K. \quad (2)$$

Коэффициент загрузки каналов:



$$K = \frac{\bar{n}}{n}. \quad (3)$$

### Результаты моделирования

Пассажирский порт Санкт-Петербурга можно рассматривать как 7-канальную СМО. Моделирование и анализ будут проводиться индивидуально для каждого месяца навигации, поскольку интенсивность потока судов меняется каждый месяц. Анализ проводится по данным за 2019 год.

Пример расчёта по данным за июль:

Плотность входного потока:  $\lambda = 68$  судов в месяц = 2,91 судов в сутки.

Среднее время стоянки судов в июле составило 1,45 суток.

Плотность выходного потока:  $\mu = \frac{1}{1,45} = 0,69$ .

Вероятности состояний системы считаются по формуле (1) и сводятся в таблицу:

Количество причалов	0	1	2	3	4	5	6	7
Вероятности	0.04	0.14	0.21	0.23	0.18	0.11	0.06	0.027

Определение среднего количества занятых причалов по формуле (2):

$$\bar{n} = 0.04 \cdot 0 + 0.14 \cdot 1 + 0.21 \cdot 2 + 0.23 \cdot 3 + 0.18 \cdot 4 + 0.11 \cdot 5 + 0.06 \cdot 6 + 0.03 \cdot 7 = 3.09$$

Коэффициент загрузки причалов по формуле (3):

$$K = \frac{3.09}{7} \cdot 100\% = 44\%.$$

Аналогичным образом проводятся расчёты для остальных месяцев. Результаты проведённых расчётов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Вероятности занятости причалов по данным 2019 года

Месяц	Вероятности занятости определённого числа причалов								Коэффициент загрузки	
	Количество причалов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	$\bar{n}$	K
Апрель	0.60	0.31	0.08	0.01	0.002	0.0002	0.00002	0.000001	0.51	0.073
Май	0.13	0.26	0.27	0.19	0.10	0.04	0.01	0.0004	2.05	0.29
Июнь	0.09	0.22	0.26	0.21	0.13	0.06	0.02	0.01	2.38	0.34
Июль	0.04	0.14	0.21	0.23	0.18	0.11	0.06	0.027	3.09	0.44
Август	0.09	0.22	0.26	0.21	0.13	0.06	0.02	0.01	2.39	0.34
Сентябрь	0.26	0.35	0.24	0.11	0.04	0.01	0.002	0.0004	1.35	0.19
Октябрь	0.67	0.27	0.05	0.01	0.0007	0.0001	0.000004	0.0000000	0.4	0.06

Распределение вероятностей состояний порта сводится в диаграмму, представленную на рисунке 6.



Вероятности занятости причалов по месяцам

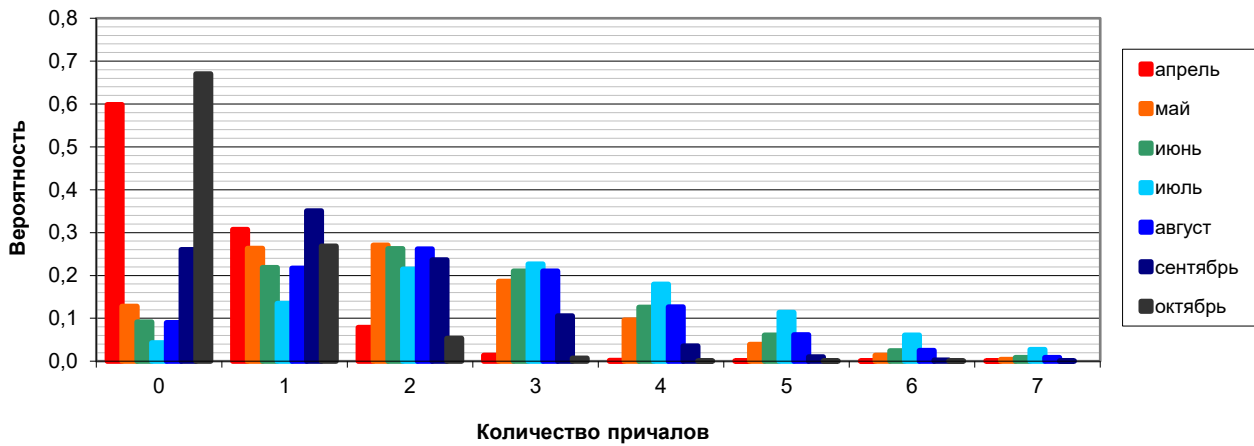


Рис. 6. Вероятности занятости причалов по месяцам

Вероятность отказа в обслуживании – это вероятность занятости всех 7-ми причалов. Их значения в процентах по месяцам указаны на рисунке 7.

Вероятность отказа

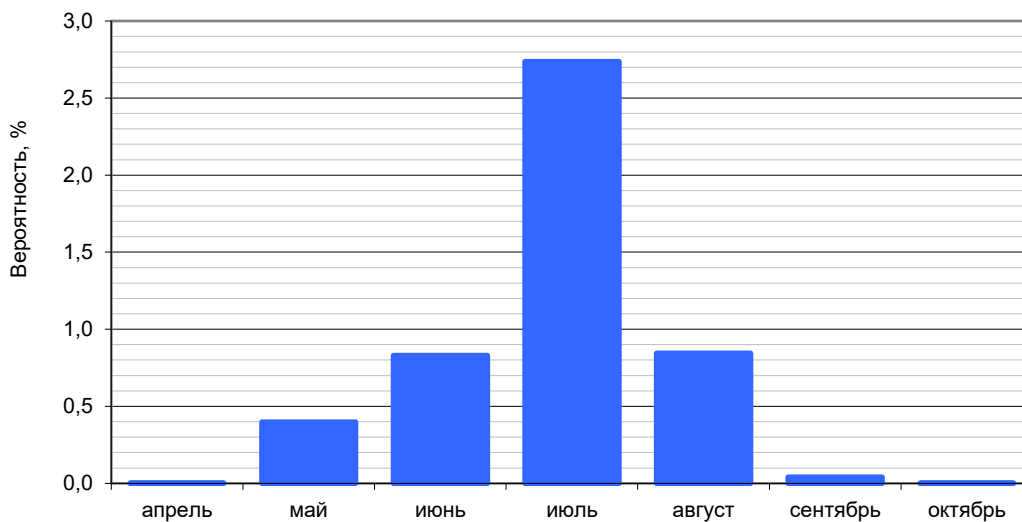


Рис. 7. Вероятность отказа в каждом месяце 2019 года

Коэффициент загрузки порта – это отношение среднего числа занятых причалов к общему. Загруженность порта в процентах за каждый месяц указана на рисунке 8.



### Загруженность порта по месяцам

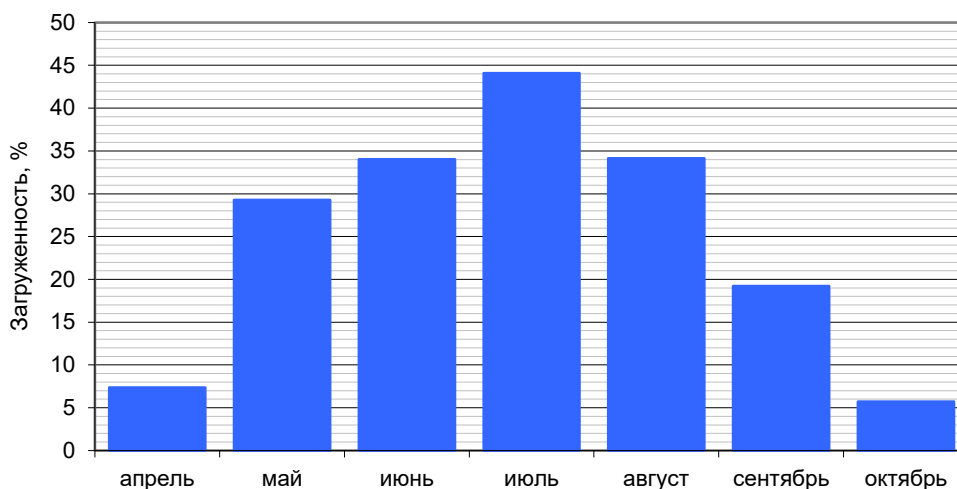


Рис. 8. Загрузка причалов порта в каждом месяце

Исходя из полученных данных, при неравномерном потоке судов максимальная загруженность причалов достигается при месячной интенсивности как в июле 2019. Максимальная загрузка составляет 44%. Вероятность того, что все причалы будут заняты и начнёт образовываться задержка в обслуживании прибывающих составляет 2,7%, что не очень много. Загрузка порта в остальные летние месяцы не превышает 35%, а осенью за счёт спада спроса не превышает и 20%. Из этого можно сделать вывод, что порт способен справиться с возможным повышением месячных интенсивностей движения как минимум до уровня июля 2019.

### Заключение

Как было сказано, расписание движения составляется заранее и на всю навигацию, что делает поток судов равномерным и сбалансированным. При такой организации приёма судов порт может быть переполнен только из-за сбоев в расписании вследствие форс-мажоров. Однако порт может принимать и суда вне расписания, если есть свободные места. И поток судов, идущих вне расписания, может превысить вместимость порта, из-за чего данные суда будут или вынуждены ждать или откажутся от обслуживания в порту. В реальности, необходим баланс между пропускной способностью порта и возможным объёмом издержек. При тех объёмах поступающих судов, которые наблюдаются сейчас, порт работает эффективно.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общая информация - Пассажирский порт Санкт-Петербург Морской фасад [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.portspb.ru/O\\_porte/about](https://www.portspb.ru/O_porte/about) (дата обращения 10.05.2021).
2. Правила приема и обслуживания судов Открытым акционерным обществом «Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад». СПб.: 2009. 13 с.
3. Расписание - Пассажирский порт Санкт-Петербург Морской фасад [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.portspb.ru/Raspisanie> (дата обращения 6.11.2020).
4. World's Top-50 Largest Cruise Ships | CruiseMapper [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cruisemapper.com/wiki/763-list-of-largest-cruise-ships-in-the-world> (дата обращения 4.05.2021).
5. MSC Cruises. Во время круиза. – URL: <http://msccruises.ru/info/vo-vremya-kruiza/> (дата обращения 9.05.2021).



6. Теория массового обслуживания. Методические указания, учебная программа и задания для контрольных работ № 1, 2 для студентов заочной формы обучения специальности 071900 “Информационные системы в технике и технологиях”. - Самара: СамГАПС, 2002.- 38с.
7. Фролов А. С. Организация, планирование и технология перегрузочных работ в морских портах: учебник для высш. учеб. завед. ММФ / А. С. Фролов, П. В. Кузьмин, А. В. Степанец. — М.: Транспорт, 1979. — 408 с.
8. Майоров, Н.Н. Моделирование транспортных процессов: учеб. пособие / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов. – СПб.: ГУАП, 2011. – 164 с.: ил.

### **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



УДК 725.314

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-114-119

## ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПОДЗЕМНОМ РЕЛЬСОВОМ ТРАНСПОРТЕ

**А. Г. Морозков, Н. А. Слободчиков**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье рассмотрены исторические примеры проведения террористических актов на объектах транспортной инфраструктуры. Отмечены потенциальные уязвимости существующей на данный момент системы безопасности, а также предложены способы противодействия актам незаконного вмешательства.*

*Ключевые слова: транспортная безопасность, терроризм, безопасность метрополитена, отравляющие вещества, химическое оружие, акты незаконного вмешательства, обеспечение безопасности транспортной инфраструктуры.*

### **Для цитирования:**

*Морозков А. Г., Слободчиков Н. А. Проблемные вопросы обеспечения безопасности на подземном рельсовом транспорте // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 114-119. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-114-119.*

## PROBLEMATIC ISSUES OF SECURITY IN UNDERGROUND RAIL TRANSPORT

**A. G. Morozkov, N. A. Slobodchikov**

State University of Aerospace Instrumentation

*The article examines historical examples of terrorist attacks on transport infrastructure facilities, notes the potential vulnerabilities of the current security system and suggests ways to counter acts of unlawful interference.*

*Key words: transport security, terrorism, metro security, poisonous substances, chemical weapons, acts of unlawful interference, ensuring the security of transport infrastructure.*

### **For citation:**

*Morozkov A. G., Slobodchikov N. A. Problematic issues of security in underground rail transport // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 114-119. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-114-119.*

### **Введение**

Проблемы транспортной безопасности во всём мире, и Российской Федерации, в частности, в последние годы стали выходить на первый план. Это связано, прежде всего, с тем социальным эффектом, который возникает при любом акте незаконного вмешательства на видах транспорта вообще и метрополитене как самом массовом виде городского транспорта, в частности. Это усугубляется ещё и тем фактом, что люди спускаясь под землю, уже ощущают большой дискомфорт, тревожность и в некоторых случаях панику.

### **Статистика террористических актов и анализ современных угроз на транспорте**

Анализ статистики происшествий на подземном транспорте показывает, что 91% терактов в метрополитене были совершены с использованием самодельных взрывных устройств. Использование данного типа воздействия связано прежде всего с большим резонансом и потенциальным психологическим эффектом. Для предотвращения этих незаконных вмешательств во всем мире предпринимаются определённые меры обеспечения безопасности, которые часто оказываются недостаточными. Девять процентов из произошедших террористических актов распределяются следующим образом: в 6% из них использовались отравляющие вещества и в 3% случаях – горючие жидкости [1].

Несмотря на кажущуюся незначительность случаев использования террористами отравляющих веществ предотвращение именно этого воздействия является для работников подземного транспорта



наиболее проблематичным. Как показывает практика эксплуатации метрополитена в последнее время, даже при наличии множественных ступеней защиты и технического вооружения «вентиляционных киосков», вентиляционных шахт и прилегающих к ним территорий, ежегодно фиксируются повторяющиеся случаи незаконного проникновения [3; 4; 5; 6].

Так, например, несмотря на то, что с января 2016 года в дежурную часть службы безопасности московского метрополитена (Центра обеспечения безопасности) был выведен пульт центрального наблюдения охранных сигнализаций на вентиляционных шахтах, что позволило значительно сократить время поступления тревожного сигнала о попытке проникновения, было зафиксировано 18 случаев. Внедрение этого пульта наблюдения с использованием групп быстрого реагирования позволило снизить этот показатель с 31 случая, которые были в 2015 году почти в два раза, но сам факт возможности проникновения посторонних лиц в охраняемую зону остался [2].

Это связано, прежде всего, с тем, что систему организации предотвращения актов незаконного вмешательства в деятельность метрополитена можно описать по модели причинной обусловленности событий или же «швейцарского сыра» (рис. 1).

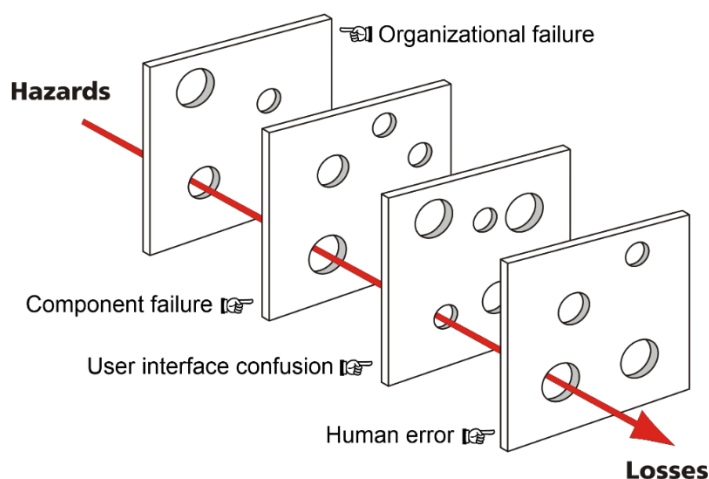


Рис. 1. Модель причинной обусловленности событий

Данная модель изначально задумана как метафорическое представление череды системных ошибок, приводящих в своей сумме к фатальной ошибке. В данном случае модель показывает возможность стечения обстоятельств, когда каждый следующий слой защиты, который мог предотвратить негативное влияние предыдущей бреши в части системы защиты, своей уязвимостью совпадает с наличием уязвимости у последующего. Что, в конечном итоге, выстраивает последовательную брешь в системе безопасности и используется нарушителем.

К примеру, документы, регулирующие проникновения на охраняемые объекты, ст.215.4 УК РФ «Незаконное проникновение на охраняемый объект» [7], КоАП РФ Статья 20.17 [8], позволяют выявлять лишь граждан, считающимися с законом и подчиняющимися ему. Однако в случае с потенциально антисоциально настроенными элементами одного ограничения на социальном уровне оказывается недостаточно.

Использование преступниками отравляющих веществ приводит в закрытом пространстве к колоссальным жертвам. Ярким примером этого служит использование группировками запрещенной организации «Аум-ширёку» 20 марта 1995 года в токийском метрополитене зарина, приведшего к гибели 13 человек при общем количестве пострадавших 6252. Преступники применили приблизительно 5-6 литров зарина, распределенного по 11 пакетам в 5 сумках [9, 10]. Столь малое количество отравляющего вещества, приводящее к большому количеству жертв, для преступников является приоритетным. Так, например, в период с 2001 по 2004 год в ходе рейдов на предполагаемые ячейки Аль-Каиды в Великобритании, Франции, Испании, России, Грузии и Республике Ирак были



обнаружены руководства и схемы, содержащие подробные инструкции по производству разнообразных отравляющих веществ и оборудование для изготовления [14]. Основным выводом, который можно сделать из анализа опыта применения отравляющих веществ на объектах транспорта, это то, что самодельное взрывное устройство с добавлением химического компонента с точки зрения поражения отравляющим веществом малоэффективно, так как взрыв разрушает основную часть заложенного реагента [11, 13]. Двухкомпонентное устройство просто в создании и распространённо среди доступной информации в сети Интернет [12]. Применение подобных устройств было замечено в Ираке и Афганистане, также в 2003 была предотвращена подготовка к теракту в Нью-Йорке, где планировалось использовать подобный химический реактор [14, 15]; в то же время распыление отравляющего вещества – самый эффективный, простой и доступный способ, одновременно с этим и самый трудно обнаруживаемый.

В то же время различные отравляющие вещества обладают различным поражающим эффектом (рис. 2). Самым большим обладает зарин [16].

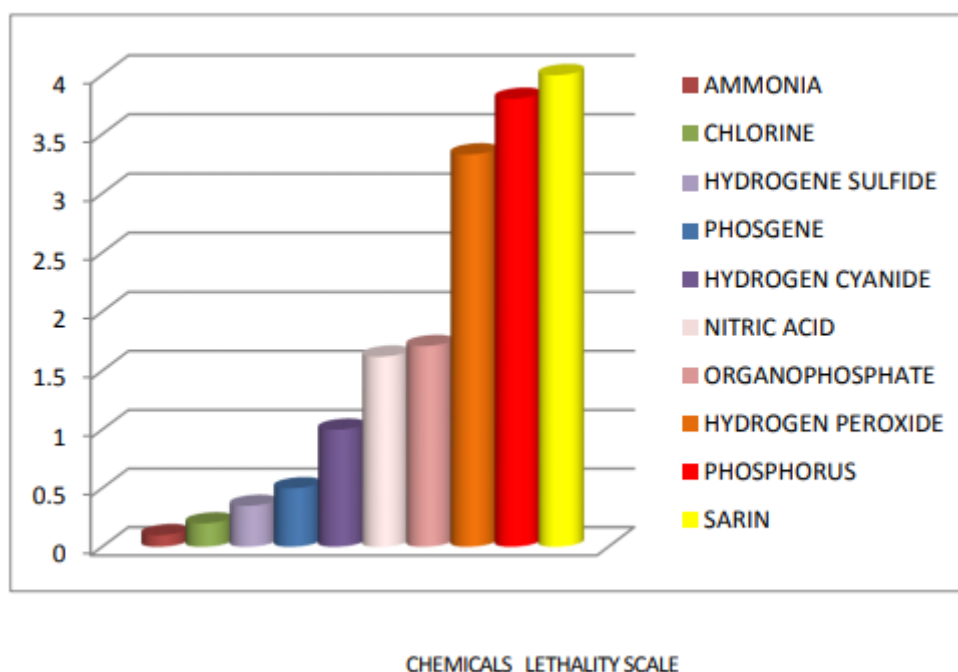


Рис. 2. Сравнение летальности при одной и той же концентрации химических веществ

Таким образом, исходя из вышеописанного, можно сделать следующий вывод: на современном этапе использование преступниками отравляющих веществ и биологически опасных веществ (вирусов и т.д.) потенциально возможно и представляет непосредственную угрозу транспортной инфраструктуре и её пользователям. Из-за высокой плотности пассажиропотока и скорости распространения воздушных потоков, за счёт активной работы системы вентиляции метрополитена и поршневого движения поездов, оно может привести к поражению около 100000 человек за первые 48 часов, считая тех, кто находился в самом метро и был заражён после [14].

При этом наиболее вероятными способами атаки на систему метро при помощи химического оружия можно считать пронос в транспортную зону емкости с химикатами, а также использование внешних вентиляционных киосков для внедрения газообразной формы отравляющего вещества в систему вентиляции. Если первый вариант ещё можно предотвратить за счёт упомянутой системы организации безопасности, то со вторым случаем, как раз модель «швейцарского сыра» может создать тоннель. Так как скорейшему распространению отравляющего вещества будут способствовать движущиеся по вентилируемым тоннелям поезда, совершающие поршневое



обогащение прилегающих к данному участку вентиляции станций, это повлечёт за собой увеличение количества вероятных жертв. Также, система вентиляции и кондиционирования вагонов поездов будет распространять газ во внутрь вагонов, подвергая угрозе жизни находящихся там пассажиров, а также перемещая воздух при вентиляции на попутных составу станциях по мере перемещения пассажиропотока на станциях.

В этой связи особенно актуальной становится проблема улучшения системы безопасности киосков вентиляционных шахт метро. Прежде всего, для повышения её эффективности необходимо:

1. Провести модернизацию конструкции надземной части вентиляционного канала для не только минимизации риска попадания в систему вентиляции отравляющего вещества, но и препятствия подосу в подземное пространство наиболее загрязненного воздуха из поверхностного слоя атмосферы [16]. Этот способ подробно изложен в описании изобретения к патенту RU2368848C1 [16]. Он представляет собой надшахтное строение с воздухопропускающими проемами и внешнее ограждение в виде кольцеобразного кожуха. Кожух выполнен в виде расширяющейся кверху воронки из аморфного материала и облицован защитным покрытием.
2. Изменить систему управления контролем доступом на объект, снабдив техническое вооружение вентиляционных киосков считывателями бесконтактных смарт-карт системы СКД-БСК [17].
3. Оборудовать, в дополнение к уже существующим датчикам системы безопасности вентиляционных шахт, газоанализаторами системы ОКСИОН (БСХД-02 широкого профиля).
4. Для уменьшения времени реагирования и упрощения локализации вероятных актов незаконного вмешательства оборудовать вентиляционные киоски поворотным всепогодными видекамерами с трансфокаторами для детального отображения окружающей обстановки. Типы и качество видеокamer определить на стадии локального проектирования в зависимости от индивидуальных особенностей расположения каждого вентиляционного киоска.

### **Заключение**

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать следующий вывод. Вопросы обеспечения транспортной безопасности требуют постоянного изучения и анализа, а сама система – постоянного совершенствования на основе опыта как нашей страны, так и зарубежного, с широким использованием достижений науки и техники, ведь нет ничего более ценного и важного, чем человеческая жизнь.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Швецов А.В.* Обеспечение безопасности и защиты метрополитенов от несанкционированного вмешательства и воздействия: автореф. дис... доктор наук – Москва: ФГБОУ ВО ДВГУПС, 2018. – 24 с.
2. *А.А. Кичигин.* Тезисы доклада Заместителя начальника метрополитена – начальника Службы безопасности ГУП «Московский метрополитен» А.А. Кичигина на открытии практикума: «Реализация требований по обеспечению транспортной безопасности метрополитенов. Обеспечение комплексной безопасности транспортно-пересадочных узлов». // XVI Международная научно-практическая конференция «Терроризм и безопасность на транспорте» - М., 2017 – С.2-6.
3. Петербургские диггеры опубликовали видео прогулки по строящейся станции метро "Проспект Славы" [Электронный ресурс] // dr.ru: ежедн. интернет-изд. 2018. 23январь. – URL: <https://bit.ly/3eOIEVB> (дата обращения: 05.04.2021).



4. Питерские диггеры показали, как легко попасть в строящуюся подземку [Электронный ресурс] // newizv.ru ежедн. интернет-изд. 2018.27марта URL: <https://bit.ly/3ojeLi5> (дата обращения: 05.04.2021).
5. Диггеры проникли на станцию «Проспект Славы» в Петербурге [Электронный ресурс] // spb.aif.ru: ежедн. интернет-изд. 2018. 23января. URL: <https://bit.ly/3ybeYZp> (дата обращения: 05.04.2021).
6. Погибший в метро предположительно диггер. У него нашли видеокамеру // fontanka.ru: ежедн. интернет-изд. 2020. 31авг URL: <https://bit.ly/3uLprsi> (дата обращения: 05.04.2021).
7. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195-ФЗ (ред. от 24.03.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.04.2021) [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3ouVWxz> (дата обращения: 05.04.2021).
8. "Уголовный кодекс Российской Федерации" от 13.06.1996 N 63-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3w9yaoA> (дата обращения: 05.04.2021).
9. *Richard Danzig, Marc Sageman, Terrance Leighton, Lloyd Hough, Hidemi Yuki, Rui Kotani and Zachary M. Hosford Aum Shinrikyo Insights Into How Terrorists Develop Biological and Chemical Weapons* [Электронный ресурс] // cna.org: инфор.- справочный портал. 2011.20июня. URL: <https://bit.ly/3tJ669W> (дата обращения: 06.04.2021).
10. *Tim Ballard Jason Pate Gary Ackerman Diana McCauley Sean Lawson Chronology of Aum Shinrikyo's CBW Activities* [Электронный ресурс] // nonproliferation.org: инфор.- справочный портал. 2005.26авг URL: <https://bit.ly/3eMPzNL> (дата обращения: 06.04.2021).
11. David E. Kaplan, Andrew Marshall. *The Cult at the End of the World* / Crown Publishers, 1996 – 310 с.
12. *Alan H. Hall, Gary E. Isom, Gary A. Rockwood. Toxicology of Cyanides and Cyanogens: Experimental, Applied and Clinical Aspects* / John Wiley & Sons, 2015. – 352 с.
13. *Ron Suskind. One Percent Doctrine: Deep Inside America's Pursuit of Its Enemies Since 9/11* / Simon & Schuster, 2006. – 368 с.
14. *Anthony J. Policastro Susanna P. Gordon. The Use of Technology in Preparing Subway Systems for Chemical/Biological Terrorism* // 1999 Commuter Rail/Rapid Transit Conference Proceedings. - Toronto. - P. 226-234.
15. René Pita. *Assessing al-Qaeda's Chemical Threat* / René Pita // Athena Paper – 2007. -Vol. 2, No 2 Article 3/5 – P.28-38.
16. Пат. 2368848 РФ. Вентиляционный киоск метрополитена / Дмитрий Владимирович Гаев, Александр Владимирович Ершов, Андрей Аскольдович Кривенко, Наталия Петровна Левина, Сергей Викторович Зайцев, Павел Михайлович Данелюк, Валерий Иванович Грибов, Анатолий Алексеевич Гончаров // Оpubл. 27.09.2009.
17. Автоматизированная система контроля доступа (СКД) в помещения метрополитена на основе служебных бесконтактных смарт-карт [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3v2BCVn> (дата обращения: 06.04.2021).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Морозков Андрей Георгиевич** —

студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

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

E-mail: [agmorozkov@gmail.com](mailto:agmorozkov@gmail.com)

### **Слободчиков Николай Александрович** —

кандидат военных наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

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



E-mail: kola\_slob@mail.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Morozkov Andrej Georgievich —**

student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

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

E-mail: agmorozkov@gmail.com

**Slobodchikov Nikolai Alexandrovich —**

Ph.D. of Military Sciences, Professor

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

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

E-mail: kola\_slob@mail.ru



УДК 330.342.24

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-120-128

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ГОРОД» В МИРЕ

**А. В. Ключева**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье описана система под названием «Умный город» и её элементы, представленные в общепризнанных развитых в этой области городах по всему миру. Также отмечено успешное внедрение подобных технологий в России на примере адаптивного светофорного регулирования в Москве и Санкт-Петербурге.*

*Ключевые слова: город, светофор, транспорт, адаптивное управление, экология.*

### **Для цитирования:**

*Ключева А. В. Опыт внедрения системы «Умный город» в мире // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП. - 2021 – с. 120-128. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-120-128.*

## EXPERIENCE OF IMPLEMENTING THE "SMART CITY" SYSTEM IN THE WORLD

**A. V. Kliueva**

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The article describes a system called "Smart City" and its elements, presented in the generally recognized developed cities in this area around the world. The successful implementation of such technologies in Russia was also noted on the example of adaptive traffic light regulation in Moscow and St. Petersburg.*

*Key words: city, traffic light, transport, adaptive management, ecology.*

### **For citation:**

*Klyueva A. V. Experience of implementing the "Smart City" system in the world // System analysis and logistics: journal.: issue №2 (28), ISSN 2077-5687. - SPb.: GUAP. - 2021 - p. 120-128. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-120-128.*

### **Введение**

В современном мире отмечена тенденция к урбанизации как процессу сосредоточения населения и экономической жизни в крупных городах. Жители деревень и небольших городов стремятся попасть в мегаполисы и остаться в них на длительное время, чтобы учиться в ВУЗе, работать и жить. Города растут, растёт и спрос на лучшее качество жизни, быстрый, удобный транспорт и сервисы, отвечающие современному уровню технологического развития. Для удовлетворения таких запросов власти многих городов по всему миру осваивают применение таких технологий как «Умный город».

К настоящему моменту не сформировано единое определение, однако можно сказать, что данная система объединяет в себе информационные технологии и сеть «Интернета вещей», позволяющую различным устройствам, помимо выполнения своих основных функций, обмениваться данными друг с другом. «Умный город» направлен на улучшение качества жизни любого города и охватывает все основные сферы жизнедеятельности, такие как транспорт, здравоохранение, ЖКХ и др.

### **1. «Умные города» мира**

Многие компании периодически составляют рейтинг «умных городов». При этом оценка может производиться как по критериям внедрения конкретных технологий, так и по более общим признакам, например, уровню жизни или экологии. Однако чаще всего в рейтинге можно встретить города, приведённые ниже.

#### **1.1 Сан-Франциско, США**

Считается, что в Сан-Франциско самая развитая система общественного транспорта



на западном побережье США. Более трети городского населения ежедневно использует общественный транспорт, который представлен автобусами (дизельными и гибридными), троллейбусами, наземными и подземными скоростными трамваями и даже историческими кабельными трамваями. Весь транспорт в черте города входит в состав транспортной системы под названием MUNI. Она предоставляет собой возможность планирования маршрута и ознакомления с расписанием общественного транспорта, оплаты с помощью транспортной карты или приложения. MUNI объединяет пять видов общественного транспорта: автобус, троллейбус, современный скоростной трамвай, исторические электрический и кабельный трамвай. В общей сложности количество маршрутов составляет восемьдесят штук.



Рис.1. Карта маршрутов системы MUNI

Разработаны программы для слепых и слабовидящих граждан для навигации в общественном транспорте. Муниципальным транспортным агентством Сан-Франциско была поставлена цель сократить количество выбросов углерода в атмосферу при транспортировке, вследствие чего в городе активно развивается использование электротранспорта. Более 110 станций подзарядки функционировало уже в 2017 году [1].

## 1.2 Амстердам, Нидерланды

Столица Нидерландов была одной из первых, кто принял концепцию умного города в Европе. Следуя целостной стратегии, запущенной в 2009 году и направленной на то, чтобы стать умнее, в 2016 году город был признан Европейской столицей инноваций. Для жителей города была создана веб-площадка с открытыми данными под названием Amsterdam Smart City. Он действует как централизованный форум для общения и координации идей и проектов умного города [2].



Например, проект Smart Flow, который управляет и контролирует датчики по всему Амстердаму, чтобы сообщать о движении транспорта и наличии парковок. Он помогает водителям быстро найти самую дешевую, ближайшую и наиболее доступную парковку, а городу – уменьшить заторы на дорогах, загрязнения воздуха и уровень шума [3].

Другой проект – Toogethr – представляет собой приложение, которое упрощает совместное использование автомобилей, подбирая для пассажиров потенциальных водителей в зависимости от места и времени их работы [4].

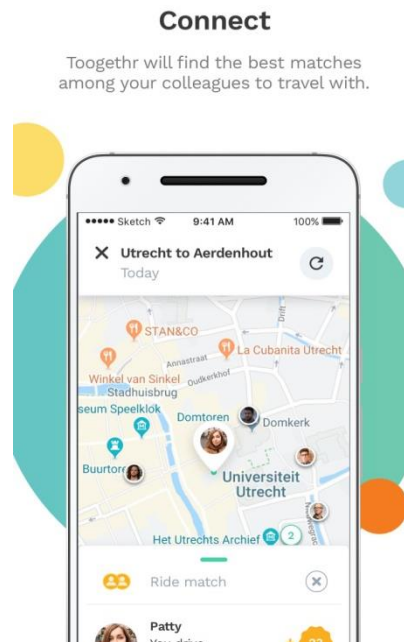


Рис.2. Интерфейс приложения Toogethr

Главная транспортная компания в Амстердаме называется GVB и заведует всем общественным транспортом города (метро, трамваями и автобусами) как в Амстердаме, так и в его окрестностях. В 2010 году была введена комплексная система продажи билетов, позволяющая людям путешествовать на трамваях, метро, автобусах и даже поездах, используя лишь одну электронную чип-карту.

### 1.3 Барселона, Испания

В 2012 году городским советом Барселоны с помощью Муниципального института информатики был запущен проект Sentilo. В переводе с языка эсперанто «Sentilo» означает датчик, что отражает суть работы данной программной среды, заключающейся в сборе данных с более чем 550 сенсоров по всему городу и предоставлении этой информации в открытый доступ.

Датчики установлены для определения таких параметров как занятость парковочных мест, качество воздуха, уровень шума, дорожная обстановка и т.д.

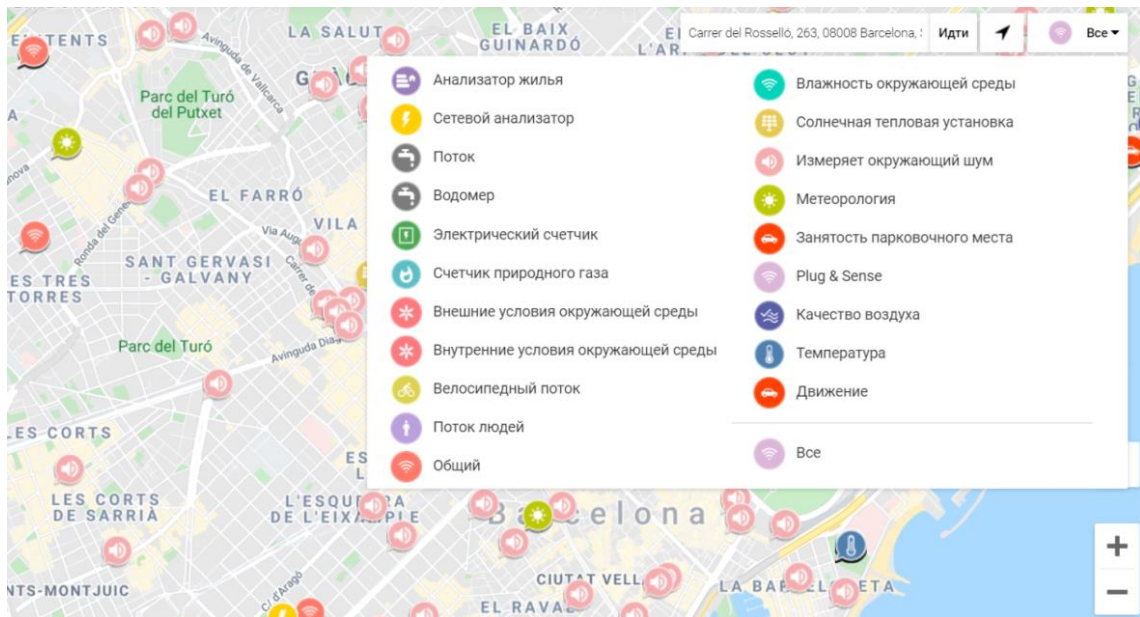


Рис.3. Интерфейс программы Sentilo

Данные могут быть использованы как городскими властями, так и коммерческими организациями для планирования и работы. Каждый желающий может подключить собственные датчики или приложение для обмена данными с Sentilo [5].

#### 1.4 Копенгаген, Дания

В 2013 году была запущена программа обновления системы городского освещения. После завершения работ по замене около 18 800 точек освещения на LED-лампы в 2017 году была подключена система контроля освещения «MUSE», благодаря которой интенсивность света меняется в зависимости от района города и времени суток. Также, в режиме реального времени она подстраивается под транспортные и пешеходные потоки, велосипедистов и отключает фонари, когда в них нет нужды. С внедрением этой технологии Копенгаген уже смог достичь сбережения 55% энергии и снижения потребления CO<sub>2</sub> на 3200 тон в год [6].

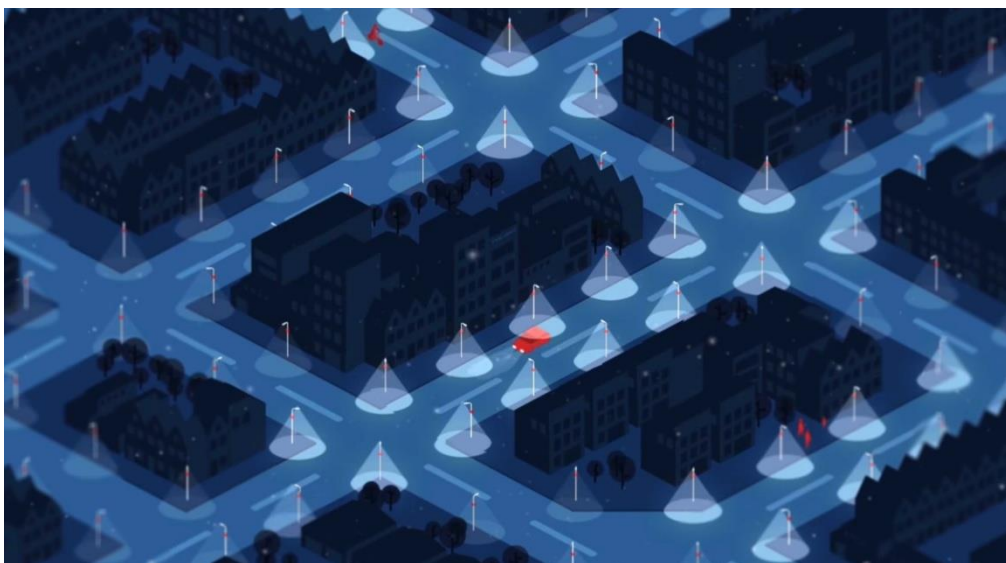


Рис.4. Графическое представление работы «умного» освещения



Кроме этого, в Копенгагене, как и в Амстердаме, функционирует открытая интернет-площадка для обмена данными между жителями и наблюдением за развитием города, а также приложение для построения маршрутов, информирования о времени в пути, пробках и даже чистоте воздуха посредством специальных датчиков на велосипедах, имеющих большую популярность в Дании.

### 1.5 Вена, Австрия

Занимая первое место в рейтинге уровня жизни по версии компании Mercer на протяжении 10 лет, Вена активно создает благоприятные условия для выбора в пользу общественного, а не личного транспорта. Начиная с 2000 года, процент использования личного автомобиля уже снизился с 40% до 27%, при этом доля горожан, выбирающих общественный транспорт, возросла с 29% до 39%, а велосипедистов – с 3% до 6%. Оставшуюся часть благодаря компактности города занимает передвижение пешком [7].

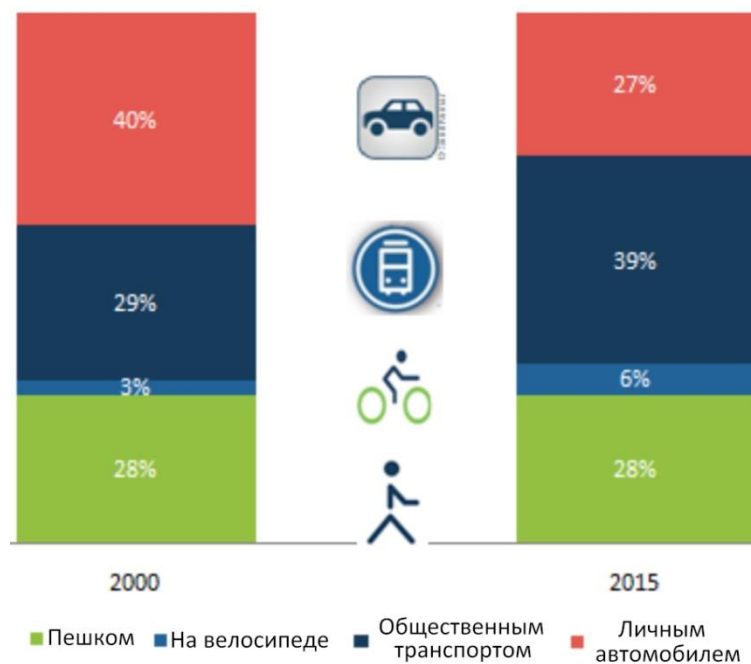


Рис.5. Изменение процентного соотношения способов передвижения в Вене

Вена поделена на несколько тарифных зон, в пределах одной зоны на все виды транспорта кроме прогулочных катеров и велосипедов действует единый тариф. Для снижения времени ожидания пешеходов на перекрестках установлены светофоры с устройствами видеофиксации. Они в режиме оффлайн распознают направление движения человека и включают ему зеленый свет при приближении [8].

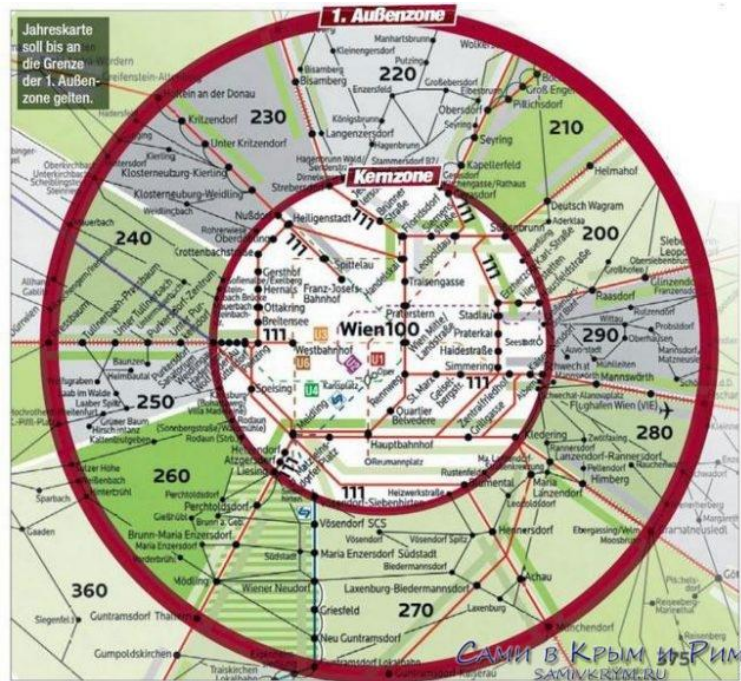


Рис.6. Разметка тарифных зон в Вене

Согласно плану Городской мобильности (Urban Mobility Plan Vienna) СТЕР город стремится к тому, чтобы к 2025 году 80% горожан передвигались экологичными способами (пешком, на велосипеде и общественным транспортом на электроприводе и газе). Таким образом, городские власти Вены продвигают активный и благоприятный для окружающей среды образ жизни [9].

## 2 «Умные города» России

В нашей стране внедрение «умных технологий» активнее всего происходит в Москве. С 2011 года в столице совершенствуется Интеллектуальная транспортная система (ИТС), которая оперативно информирует водителей о загруженности улично-дорожной сети города, расчетном времени в пути и погоде с помощью более чем 160 электронных табло на главных трассах.

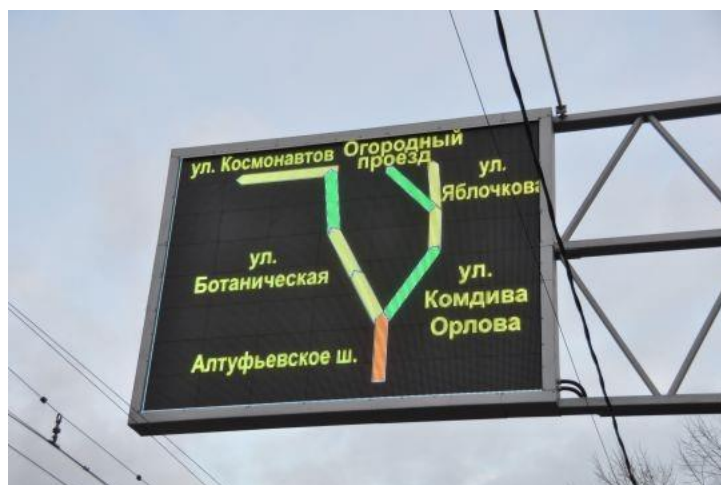


Рис.7. Информационное табло интеллектуальной транспортной системы

Активно развивается система интеллектуального светофорного регулирования. Светофоры автоматически переключают сигналы, анализируя количество подъезжающих к перекрестку машин.

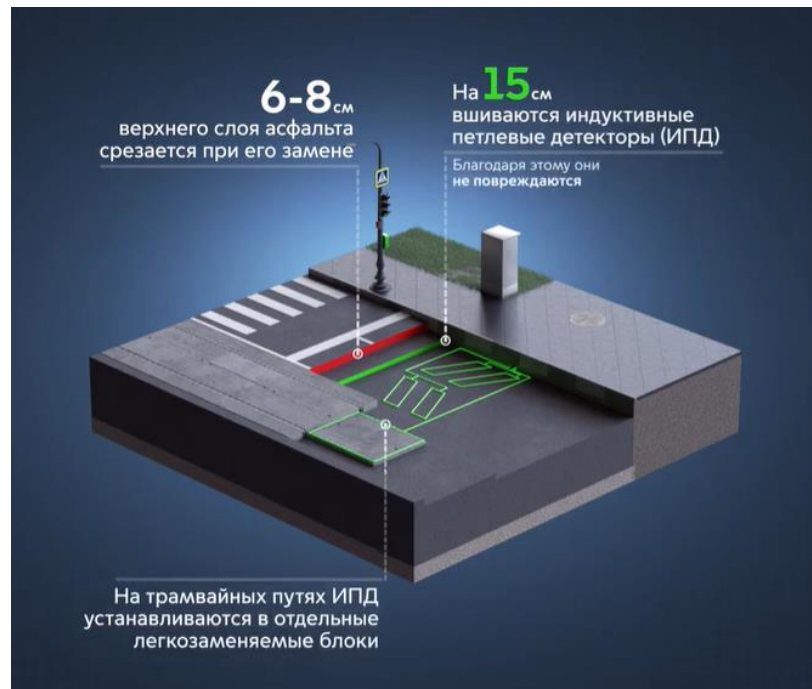


Рис.8. Детекторы транспортного потока «умных светофоров»

Вместе с этим за ситуацией на улицах следит штаб Центра организации дорожного движения (ЦОДД). Работу этого штаба можно свести к определенному порядку действий:

1. Получение сигнала о происшествии
2. Оценка ситуации с помощью камер видеонаблюдения
3. Информирование оперативных служб и горожан
4. Контроль ситуации до её полного разрешения

Возможно принятие решения об изменении режима работы светофоров и маршрутов транспорта [10].

Согласно данным ЦОДД после установки «умных светофоров» время ожидания разрешающего сигнала для пешеходов сократилось днём на 24%, ночью на 54%. Время в пути для пассажиров общественного транспорта сократилось на величину от 20% до 45%, а скорость прохождения перекрестка личными автомобилями возросла на 20-40%. К концу 2020 года в Москве установлено 465 перекрёстков с адаптивным светофорным регулированием [11].

В Санкт-Петербурге также применяется адаптивное светофорное регулирование. На улицах Васильевского острова оно было запущено еще в 2014 году, и, согласно данным Дирекции по организации дорожного движения, снизило количество заторов на 35%. Также, на остановках общественного транспорта активно устанавливают электронные табло, информирующих о времени до его прибытия [12].



Рис.9. Электронное информационное табло на остановке

### Заключение

Самые разные города мира уже используют «умные» технологии в борьбе за экологию, удобство перемещения и улучшение качества жизни. Каждый из них внедряет только те компоненты системы, которые наиболее всего подходят ритму жизни самих горожан и принесут максимальную пользу. Используя этот опыт, можно проследить, какие из новшеств современности необходимы и выполнимы в наших собственных городах, что и показано на примере Москвы и Санкт-Петербурга.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. San Francisco Municipal Transportation Agency [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3eP6cZn> (дата обращения 03.12.2020).
2. European Commission. European Capital of Innovation (iCapital) 2016 [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3bvdFL1> (дата обращения 11.03.2021).
3. Amsterdam Smart City. Smart Flow [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3uRsU8T> (дата обращения 28.11.2020).
4. AppAdvice. Togethr [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3tMVB5h> (дата обращения 03.04.2021).
5. Sentilo [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3uScgWx> (дата обращения 10.04.2021).
6. Умное освещение Копенгагена [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3ум3tyv> 13.04.2021. (дата обращения 11.04.2021).
7. Pasta. Facts on Active Mobility Vienna / Austria [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/2SNN5WZ> (дата обращения 08.04.2021).
8. StadtWien. Smart City. Smart traffic lights. URL: <https://bit.ly/3eMAfRm> (дата обращения 08.04.2021).
9. ВОЗ о стратегии Urban Mobility Plan Vienna STEP 2025[Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3ht6Ddu> (дата обращения 08.04.2021).
10. ЦОДД. Интеллектуальная транспортная система [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/2RSyskM> (дата обращения 05.02.2021).
11. ЦОДД. В 2020 году в Москве появятся 400 «умных» перекрестков [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3boiQwn> (дата обращения 05.02.2021).
12. Умные светофоры на Васильевском сократили количество заторов [Электронный ресурс]. – URL: <https://bit.ly/3bslTUh> (дата обращения 20.02.2021).



## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Клюева Анастасия Вячеславовна –**

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: klvanastasiia@yandex.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Kliueva Anastasiia Vyacheslavovna –**

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: klvanastasiia@yandex.ru



УДК 656.025.2

DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-129-136

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКОРОСТИ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

**О. А. Соколова**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Основным видом транспорта в крупных городах является городской пассажирский транспорт. Именно этот вид транспорта обеспечивает мобильность населения и играет важную роль в густонаселенных городах. Тем не менее, с каждым годом использование городского пассажирского транспорта населением снижается. В данной статье рассмотрены различные подходы к оценке производительности транспортных средств, проведен анализ путей повышения эксплуатационной скорости и качества обслуживания пассажиров с учетом современных тенденций развития общественного транспорта.*

*Ключевые слова: эксплуатационная скорость, повышение эксплуатационной скорости, наземный городской пассажирский транспорт, транспорт общего пользования, пути повышения скорости, производительность транспортных средств, транспортное обслуживание.*

### **Для цитирования:**

*Соколова О. А. Анализ путей повышения эксплуатационной скорости наземного городского пассажирского транспорта общего пользования // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(28), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2021 – с. 129-136. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-129-136.*

## ANALYSIS OF WAYS TO INCREASE THE OPERATING SPEED OF PUBLIC LAND- BASED URBAN PASSENGER TRANSPORT

**O. A. Sokolova**

State University of Aerospace Instrumentation

*The main mode of transport in large cities is urban passenger transport. It is this type of transport that ensures the mobility of the population and plays an important role in densely populated cities. Nevertheless, the use of urban passenger transport by the population is decreasing every year. This article discusses various approaches to assessing the performance of vehicles, analyzes ways to increase the operating speed and quality of passenger service, taking into account the current trends in the development of public transport.*

*Key words: operational speed, increased operating speed, ground-based urban passenger transport, public transport, speed improvement routes, vehicle performance, transport services.*

### **For citation:**

*Sokolova O. A. Analysis of ways to increase the operating speed of public land-based urban passenger transport // System analysis and logistics.: №2(28), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 129-136. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-129-136.*

### **Введение**

Исследование возможностей по повышению эксплуатационной скорости наземного городского пассажирского транспорта общего пользования (далее – НГПТОП), в первую очередь, направлено на повышение эффективности НГПТОП и повышения качества обслуживания населения.

Эксплуатационная скорость служит индикатором, описывающим проблемы городской транспортной системы (перегруженность, отсутствие выделенных линий).

Критерием эффективности в применении к НГПТОП можно назвать форму качественно-количественного выражения цели транспортного обслуживания пассажиров, в которой и проявляется система взаимодействий и взаимосвязей внутри транспортной сети. Основная сложность подобных исследований состоит в том, что нет единства в однозначном понимании и определении критерия эффективности транспортной системы.



### Критерии оптимальности системы

Как правило, под критерием оптимальности системы до настоящего времени подразумевались ее стоимостные показатели, т.е. некий уровень развитости транспортного сообщения при минимальных затратах на ее эксплуатацию. Таким образом, основным определяющим показателем эффективности общественного производства пассажирских перевозок становится эффективность использования подвижного состава [1].

От эффективности использования подвижного состава зависят такие показатели как общая производительность труда, себестоимость перевозок, а, следовательно, и размер прибыли и рентабельности транспортной организации [1].

Если при сравнении вариантов исходить только из текущих затрат, т.е. выбирать те варианты, при которых текущие затраты наименьшие, то это означало бы, что фонды капитальных вложений и накопления безгранично велики и всегда целесообразны варианты, требующие применения наиболее передовой, сложной и дорогой техники. На самом деле это не так, ведь фонды накопления и капитальных вложений ограничены. Надо учесть, что капитальные вложения – это не только деньги, т.к. они выражаются не только в стоимостях, но и в натуре, в вещах, оборудовании и т.д. Вот почему приходится считаться с дефицитностью капитальных вложений [1].

Таким образом, задача увеличения эффективности подвижного состава заключается в том, чтобы найти оптимальный баланс между оптимальным использованием уже имеющихся ресурсов и использованием наиболее передовых технических решений.

При оценке эффективности использования подвижного состава принимается во внимание такой показатель как производительность транспортных средств. Строго говоря, любая производительность характеризуется количеством продукции, произведенным в единицу времени [2].

Так как транспортной продукцией является перемещение пассажиров или груза, то основным измерителем производительности транспортных средств выступает выработка произведения количества перевезенных пассажиров на расстояние их перевозки в единицу времени.

Таким образом, изменение этих показателей при прочих равных условиях (расстояние, условия перевозки и пр.) характеризует соответствующее изменение производительности труда транспортных средств.

### Производительность транспортных средств

Соответственно, определим ключевые параметры, влияющие на производительность транспортных средств.

Часовая выработка транспортных средств (далее – ТС):

$$W_{m.ч.} = \frac{q \cdot y_{cm}}{t_e}, \quad (1)$$

где  $q$  – пассажировместимость ТС;  $y_{cm}$  – коэффициент использования пассажировместимости статический;  $t_e$  – время на езду, ч.

Часовая выработка ТС в пассажирокилометрах:

$$W_{m.ч.} = \frac{q \cdot y_{cm} \cdot l_{e.c.}}{t_e}, \quad (2)$$

где  $l_{e.c.}$  – средняя длина ездки с пассажирами, км.



В свою очередь,

$$t_e = t_{дв} + t_{пр}, \quad (3)$$

где  $t_{дв}$  – время движения, ч;  $t_{пр}$  – время простоя под погрузкой - разгрузкой, ч.

Время, затрачиваемое на движение:

$$T_{дв} = l_{e.c.} + \beta \cdot V_T, \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент использования пробега;  $V_T$  – средняя техническая скорость, км/ч.

Исходя из этого, формулы для расчета часовой производительности автомобиля принимают вид в пассажиро-часах и в пассажиро-километрах соответственно:

$$W_{м-ч} = \frac{q \cdot \gamma_d}{\frac{l_{e.c.}}{V_T \cdot \beta} + t_{пр}}, \quad (5)$$

где  $\gamma_d$  — коэффициент использования пассажироместимости ТС динамический.

Из вышеприведенных формул следует, что каждый из семи показателей, входящих в формулы, оказывает влияние на производительность единицы подвижного состава. При заданном расстоянии перевозки выработка транспортного средства тем выше, чем больше пассажироместимость  $q$  и коэффициенты ее использования  $\gamma_{сп}$  и  $\gamma_d$ , техническая скорость транспортного средства  $V_T$  и коэффициенты использования пробега  $\beta$ , а также чем меньше время простоев транспортного средства при выполнении погрузочно-разгрузочных работ  $t_{пр}$  [3].



Рис. 1. Задачи, требующие решения

Таким образом, для повышения производительности подвижного состава необходимо одновременно решить несколько задач (рис. 1):

- максимально увеличить пассажироместимость подвижного состава;
- максимально увеличить коэффициенты использования пассажироместимости;
- максимально увеличить скорость ТС;
- минимизировать потери пробега  $\beta$ ;



- сократить время простоев транспортного средства.

Существует множество возможных путей решения данных задач. Однако в данной работе сконцентрируемся на возможных путях увеличения скорости транспортного средства. Для начала подробнее рассмотрим составляющие скорости транспортного средства в контексте применения для НГПТОП [3].

Техническая скорость ( $V_T$ ) – отношение пройденного транспортным средством пути ( $L_T$ ) к суммарному времени, затраченному на движение ( $t_{дв}$ ) и задержки по причинам уличного движения ( $t_3$ ):

$$V_m = \frac{L_T}{t_{дв} + t_3}, \quad (6)$$

Скорость сообщения ( $V_c$ ) – отношение пройденного автобусом пути ( $L_T$ ) к суммарному времени, затраченному на движение ( $t_{дв}$ ), задержки по причинам уличного движения и стоянку на промежуточных остановочных остановках:

$$V_m = \frac{l_T}{t_{дв} + t_3 + \sum t_{но}}, \quad (7)$$

Эксплуатационная скорость ( $V_э$ ) – отношение пройденного автобусом пути ( $L_T$ ) к сумме времени, затраченному на движение, задержки по причинам уличного движения, стоянку на промежуточных пунктах:

$$V_m = \frac{L_T}{t_{дв} + t_3 + \sum t_{но} + t_{ко}}, \quad (8)$$

Организация движения автобусов на маршрутах должна обеспечивать: регулярность, точность и безопасность движения; наименьшие сроки доставки пассажиров; рациональное использование автобусов; высокую производительность труда работников транспортных предприятий; культуру обслуживания и комфортность поездки; выполнение финансовых и других плановых показателей работы пассажирского транспорта. Организация движения пассажирского транспорта во многом определяется грамотным составлением расписания движения (рис. 2), которое опирается на установление (нормирование) целесообразных, приемлемых и выполнимых времени простоя на остановках и скоростей движения автобусов на маршруте [4].



Рис. 2. Расписание движения



Повышение скоростей движения на маршруте снижает себестоимость перевозок пассажиров, что подтверждает зависимость:

$$\zeta = \frac{C_{пост}}{V_T \cdot \beta \cdot \gamma \cdot g} + \frac{C_{пост} \cdot t_{ост}}{V_T \cdot \gamma \cdot g} + \frac{C_{пер}}{\beta \cdot \gamma \cdot g}, \quad (9)$$

где  $C_{пост}$  – постоянные расходы, приходящиеся на 1 ч. работы, руб.;  $C_{пер}$  – переменные расходы, приходящиеся на 1 км пробега, руб.;  $V_T$  – техническая скорость движения на маршруте, км/ч;  $\beta$  – коэффициент использования пробега;  $\gamma$  – коэффициент использования вместимости;  $g$  – средняя вместимость автобуса по местам для сидения и стояния, пассажиров;  $t_{ост}$  – среднее время простоя автобуса на остановочных пунктах, приходящихся на один рейс, ч;  $L_T$  – протяженность автобусного маршрута, км.

Время оборота автобуса на маршруте определяем по формуле:

$$T_{об} = \frac{2 \cdot L_M}{V_э}, \quad (10)$$

где  $L_M$  – длина маршрута в одном направлении, км;  $V_э$  – эксплуатационная скорость движения автобуса, км/ч.

Скорость движения автобусов во многом зависит от совершенства применяемых методов организации их движения на маршрутах. Особого внимания заслуживает анализ системы нормирования скоростей движения автобусов на маршрутах, назначение оптимального времени рейса и времени пробега между контрольными пунктами маршрута с учетом направлений движения, различных периодов суток, дней и сезонов года [3].

Правильно рассчитанная и установленная скорость движения автобусов по отдельным участкам маршрута имеет весьма важное значение, поскольку весь транспортный процесс по перевозке пассажиров подчинен точному графику движения, а выполнение каждого рейса – строгому расписанию [5].

Нормирование скорости движения автобусов на каждом маршруте позволяет выявлять и использовать значительные резервы повышения производительности, а, следовательно, снижения себестоимости перевозок пассажиров.

Снижение скоростей движения автобусов приводит к повышению затрат времени населения на транспортное передвижение, что в свою очередь вызывает транспортную усталость перевозимых пассажиров, что отражается на производительности их труда.

Скорость движения автобусов на городских маршрутах значительно ниже, чем на пригородных и междугородных маршрутах из-за частых плановых и неплановых остановок, а также большой плотности движения транспорта на уличных магистралях. Низкие скорости движения автобусов отражаются на состоянии обслуживания пассажиров, особенно в часы пик (рис. 3) [4].



Рис. 3. Автобусы в час пик

На изменение скоростей движения автобусов оказывают определенное влияние конструктивные характеристики используемого подвижного состава.

Скорость является одним из важнейших показателей качества транспортной услуги. При выборе транспорта населением скорость как один из показателей выходит на передний план. Также скорость является важнейшим индикатором возможных неполадок в организации структуры транспорта. Резкое снижение скоростных показателей свидетельствует о необходимости принятия срочных мер по выправлению ситуации и реорганизации улично-дорожной сети [4].

### **Стандарты качества транспортной услуги**

Основные стандарты и требования по организации качества НГПТОП приведены в различных ГОСТах и международных стандартах.

Согласно Европейскому стандарту 13816 «Transportation – Logistics and services – Public passenger transport – Service quality definition, targeting and measurement», существует 8 критериев качества (рис. 4) [1]:

- эксплуатационная доступность;
- доступность;
- информирование;
- время;
- комфорт;
- безопасность;
- воздействие на окружающую среду;
- обслуживание клиентов.



Рис. 4. Критерии качества

В некоторых европейских странах были разработаны собственные стандарты качества системы городского общественного транспорта, основанные на стандарте EN 13816. Например, в Испании для компаний создан стандарт UNE-EN 13816, согласно которому направления должны быть сертифицированы по европейским стандартам качества в порядке проведения тендера.

В стандарте описываются методы, которые считаются наиболее полезными для отслеживания удовлетворенности клиентов обслуживанием пассажирских перевозок и определены следующие методологии: фокус-группы, дискуссионные группы и глубинные интервью; отчеты персонала, контактирующего с клиентом; исследования рынка; исследования удовлетворенности клиентов; тайный покупатель; поступающие заявления о недовольстве (предложения, жалобы и требования); анализ внутренних эксплуатационных показателей; прямые показатели производительности (в реальном времени) [2].

Эта норма обеспечивает методологию контроля качества, включая показатели качества с рекомендациями.

Транспортное обслуживание в каждом городе обладает своими особенностями. Следовательно, и подход к формированию системы показателей для оценки качества тоже может варьироваться. Интерес к проблеме организации движения транспорта растет вместе с усложнением схемы транспортных потоков, увеличившейся конкуренцией в данной отрасли. Все транспортные организации, являясь производителями транспортных услуг, стремятся получить максимальный доход лишь при условии минимизации транспортных расходов. Так как городской общественный пассажирский транспорт имеет ярко выраженную социальную значимость, с точки зрения конечных потребителей услуги, в качестве критерия эффективности работы транспорта может выступать индекс удовлетворенности, который характеризует социальный эффект [5].

Несмотря на разнообразие показателей, они не полностью показывают удовлетворенность потребностей пассажиров. Стоит отметить, что российские показатели качества не учитывают такой важный показатель как «воздействие на окружающую среду». В связи с современными тенденциями развития стоит учитывать и этот показатель при формировании услуг пассажирам.

### Заключение

Анализ показывает, что показатели качества транспортного обслуживания, предлагаемые авторами, различны по своей сущности, но, тем не менее, имеют общие черты. Для определения некоторых показателей может потребоваться сложно определяемая информация, что приведет к усложнению процесса планирования перевозки. Возможно, что представленные показатели не



отражают представлений потребителей о качестве предоставляемых услуг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бочкарев, А. А.* Логистика городских транспортных систем: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / А. А. Бочкарев, П. А. Бочкарев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2018. — 150 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-04733-2. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт.
2. Приказ Минавтотранса РСФСР от 31.12.81 N 200 «Об утверждении правил организации пассажирских перевозок на автомобильном транспорте». (Часть 1.)
3. *Спирин, И.В.* Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебное пособие для студентов. — М.: Академия, 2010.
4. *Гудков, В. А.* Пассажирские автомобильные перевозки. — М.: Горячая линия–Телеком, 2006. — 448 с.
5. *Андреева В.И.* Инновации, направленные на повышение качества транспортного обслуживания [Электронный ресурс] // Синергия наук. 2017. № 11. — С. 202 – 209. — URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article0494> (дата обращения: 18.03.2021 г.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Соколова Ольга Андреевна** —

магистр кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

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

E-mail: eoeieou@gmail.com

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Sokolova Olga Andreevna** —

master of the department of system analysis and logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

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

E-mail: eoeieou@gmail.com