

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ АЭРОПОРТОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Скороход М.А.

*Российская Федерация, г. Самара,
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева*

Аннотация. Определяется эффективность применения комбинированной стратегии снабжения при решении задачи оптимизации системы обеспечения запасными частями производственных подразделений аэропортов в бизнес-модели авиаперевозок «ось – спицы».

Ключевые слова: эффективность, модель «ось – спицы», поставка запасных частей, система обработки багажа, оптимизация.

Оптимизация системы обеспечения запасными частями (ЗЧ) производственных предприятий аэропортов, занимающихся эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) систем обработки багажа (СОБ) пассажиров предполагает использование комбинированной схемы снабжения (рисунок 1а), включающей периодические поставки ЗЧ со склада поставщика (или депо верхнего уровня – c_0) в хаб (или депо нижнего уровня – c_1) и периферийные аэропорты (или базы – c_2, c_3, \dots, c_n); оперативные поставки ЗЧ из хаба в периферийные аэропорты и экстренные «сверхплановые» поставки ЗЧ в хаб и периферийные аэропорты при отсутствии в них необходимых ЗЧ, и состоит в определении величин поставок ЗЧ (s_{hi}) от поставщика потребителям, минимизирующих значение целевой функции c_Σ :

$$c_\Sigma = c_\Sigma^B + c_\Sigma^П + c_{\Sigma 0}^X + c_{\Sigma Б}^X + c_{\Sigma 1}^X + c_{\Sigma Б}^0 + c_\Sigma^C, \quad (1)$$

где c_Σ^B – затраты на «плановый» выпуск ЗЧ; $c_\Sigma^П$ – затраты на периодическую поставку ЗЧ на склады аэропортов; $c_{\Sigma 0}^X$ – затраты на хранение в депо верхнего уровня; $c_{\Sigma Б}^X$ – затраты на хранение на базах; $c_{\Sigma 1}^X$ – затраты на хранение в депо нижнего уровня; $c_{\Sigma Б}^0$ – затраты на оперативную поставку ЗЧ на базы; c_Σ^C – затраты на оперативную поставку ЗЧ в депо

нижнего уровня.

Для оценки эффективности от использования узлового аэропорта в качестве депо сравним комбинированную систему снабжения с классической, в которой хаб не служит депо, а, наряду с другими аэропортами, играет роль базы, при этом отсутствуют оперативные поставки, предполагаются только периодические и экстренные (рисунок 1б).

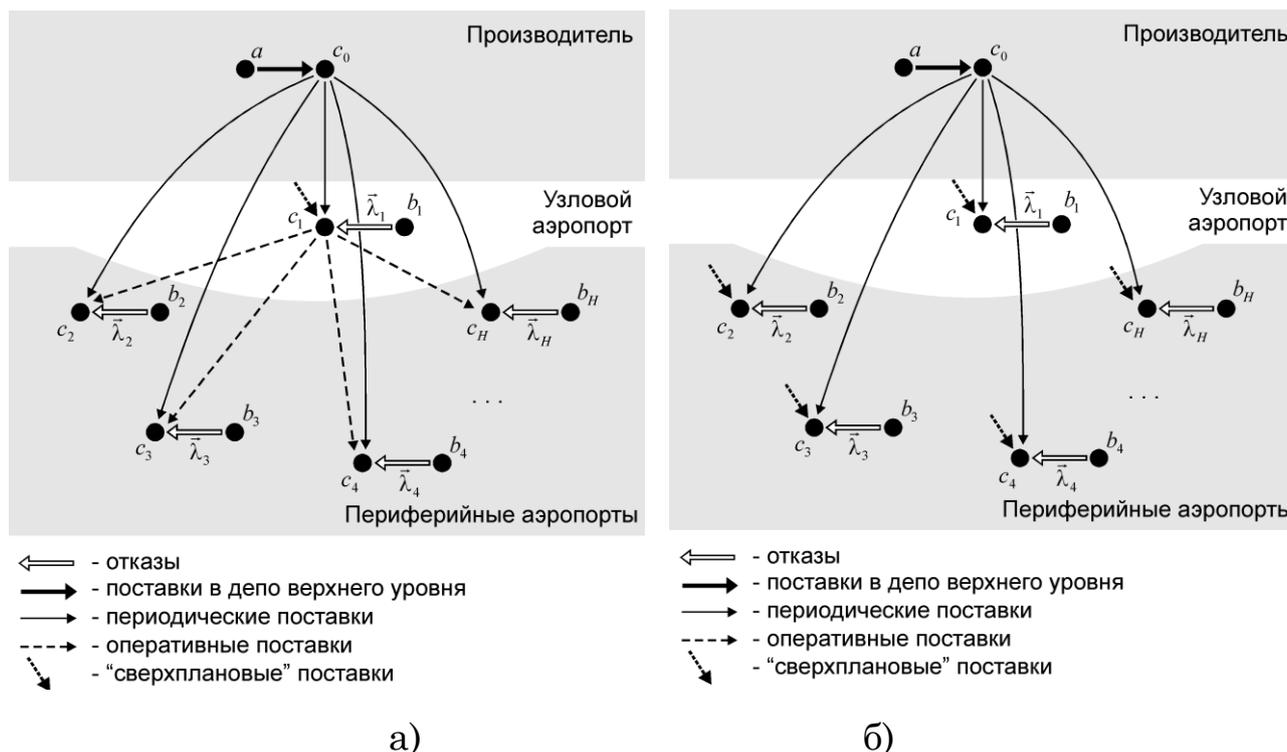


Рисунок 1. Стратегии обеспечения ЗЧ производственных подразделений аэропортов в модели «ось-спицы»: а) комбинированная; б) классическая.

Формулу целевой функции (1) можно считать справедливой для классической схемы снабжения, методика расчета слагаемых c_{Σ}^B , c_{Σ}^{Π} , $c_{\Sigma 0}^X$, $c_{\Sigma B}^X$ не меняется, изменяются лишь расчеты величин $c_{\Sigma 1}^X$, $c_{\Sigma B}^0$ ($c_{\Sigma B}^C$), c_{Σ}^C .

1. Затраты на хранение на складе узлового аэропорта выполняются как для базы, так как склад узлового аэропорта теперь не выполняет функции депо:

$$c_{\Sigma 1}^X = \theta \sum_{i=1}^I m_i \bar{y}_{1,i} c_1^X,$$

где θ – цикл работы системы управления запасами; m_i – масса брутто

ЗЧ типа i ; c_1^x – стоимость хранения в течение единицы времени единицы массы брутто груза на складе узлового аэропорта; $\bar{y}_{1,i}$ – средний запас ЗЧ типа i на складе узлового аэропорта, определяемый согласно следующим выражениям [1]:

$$\bar{y}_{1,i} = \frac{\int_0^\theta \bar{y}_{1,i}(t) dt}{\theta},$$

$$\bar{y}_{1,i}(t) = 1 + \sum_{x=0}^{s_{1,i}-1} (s_{1,i} - x - 1) P_x(t), \quad i = 1, \dots, I,$$

$$P_x(t) = \frac{(\lambda_{1,i} t)^x}{x!} e^{-\lambda_{1,i} t},$$

где $\lambda_{1,i}$ – интенсивность потока отказов компонентов i в узловом аэропорту; x – спрос, число отказов в узловом аэропорту.

2. Затраты на экстренную поставку ЗЧ на склады периферийных аэропортов включают затраты на «сверхплановый» выпуск ЗЧ i и оперативную доставку в аэропорт:

$$c_{\Sigma B}^C = \sum_{i=1}^I \sum_{h=2}^H (c_h^C \bar{v}_{hi} + m_i \bar{v}_{hi} c_h^0),$$

где \bar{v}_{hi} – средний дефицит, или среднее число ЗЧ типа i , оперативно поставленных на базу h из депо верхнего уровня за период θ ; при известных θ , λ_{hi} , s_{hi} определяется как:

$$\bar{v}_{hi} = \lambda_{hi} \theta + 1 - s_{hi} - e^{-\lambda_{hi} \theta} \sum_{x=0}^{s_{hi}-1} (x + 1 - s_{hi}) \frac{(\lambda_{hi} \theta)^x}{x!}.$$

2. Затраты на экстренную поставку ЗЧ на склад узлового аэропорта рассчитываются так же, как и для периферийного аэропорта:

$$c_{\Sigma}^C = \sum_{i=1}^I (c_1^C \bar{v}_{1,i} + m_i \bar{v}_{1,i} c_1^0).$$

При классической схеме снабжения аналогично комбинированной сохраняются ограничения на производственные возможности поставщика (a) и уровень технической надежности компонентов СОБ.

Модельный пример

Рассматривается группа аэропортов в составе хаба и двух периферийных аэропортов ($H = 3$). Дальность перевозки от склада производителя до складов аэропортов: $l_1 = 1000$ км, $l_2 = 1250$ км, $l_3 = 1500$ км.

Параметры перевозки, полученные по результатам анализа тарифов транспортных предприятий [2-4] представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры перевозки

h	Наземная перевозка		Воздушная перевозка	
	α	β	α	β
1	172	-0,33	149	-0,07
2	172,5	-0,315	157,5	-0,065
3	173	-0,3	166	-0,06

Среди заменяемых и / или ремонтируемых модулей выбраны электродвигатель ($i = 1$) и металлоконструкция конвейера ($i = 2$). Необходимые характеристики ЗЧ соответствуют данным сайтов производителей [5-7] и отражены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики ЗЧ

Параметр	Модуль, i	
	1	2
масса брутто, m_i , кг	20	50
затраты на «плановый» выпуск, c_i^B , тыс. руб.	112	250
затраты на «сверхплановый» выпуск, c_i^C , тыс. руб.	560	1250

В соответствии с составом и численностью элементов СОБ, полученных при решении оптимизационной задачи с использованием имитационной модели [8, 9], а также техническими параметрами надежности модулей СОБ [10-15] получена матрица интенсивностей потоков отказов (таблица 3).

Таблица 3. Матрица интенсивностей потока отказов

h	λ_{hi} , 1/нед.	
	$i = 1$	$i = 2$
1	33,6	8,4
2	16,8	3,4
3	11,8	3,4

Коэффициент готовности каждого модуля задается не ниже 0,999; цикл работы системы управления запасами $\theta = 168$ ч; стоимость хранения ЗЧ в аэропортах за период: $c_1^X = 0,3$ руб./кг, $c_2^X = 0,3$ руб./кг, $c_3^X = 0,3$ руб./кг.

Решение задач оптимизации системы обеспечения запасными частями при комбинированной (I) и классической (II) схемах снабжения выполнено с помощью инструмента «Поиск решения» ПО MS Excel, результаты решения приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4. Оптимальные поставки

h	s_{hi}^{opt} , 1/нед.			
	I		II	
	i = 1	i = 2	i = 1	i = 2
1	39	15	39	11
2	17	3	20	6
3	14	2	15	6
Σ	70	20	74	23

Таблица 5. Статьи затрат

Статьи затрат	I	II
на «плановый» выпуск ЗЧ, c_2^B , тыс. руб.	12840,0	14038,0
на периодическую поставку ЗЧ, c_2^P , тыс. руб.	46,5	51,9
на хранение, c_2^X , тыс. руб.	0,4	0,6
на оперативную поставку ЗЧ, $c_{\Sigma B}^0$, тыс. руб.	29,4	0,0
на «сверхплановый» выпуск ЗЧ, c_2^C , тыс. руб.	1427,7	2119,1
общие, c_2 , тыс. руб.	14344,0	16209,6

Результаты показывают, что переход на комбинированную схему снабжения ЗЧ аэропортовых подразделений, а именно организация депо нижнего уровня в узловом аэропорту, снижает затраты на обеспечение бесперебойной работы СОБ на 13% (с 16209,6 тыс. руб. до 14344,0 тыс. руб.) по сравнению с классической схемой, когда дефицит ЗЧ покрывается только сверхплановым выпуском и / или приобретением у другого производителя и прямыми авиаперевозками в аэропорты. Централизованные оперативные поставки из узлового аэропорта позволяют уменьшить запасы ЗЧ на складах периферийных аэропортов, наиболее

рационально распределяя их между базами, сокращая к минимуму экстренное «сверхплановое» производство ЗЧ и их поставку от производителя потребителям напрямую, что значительно выше по себестоимости.

Список литературы

1. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
2. Unicom Cargo. Тарифы на грузоперевозки. – URL: <https://unicomcargo.ru/tarify> (дата обращения 8.12.2022).
3. DHL. Тарифы DHL Express. – URL: <https://express.dhl.ru/tarify/> (дата обращения 8.12.2022).
4. ПЭК. Тарифы. – URL: <https://pecom.ru/business/rates/> (дата обращения 8.12.2022).
5. АрмаТрейд. Электродвигатели. – URL: https://www.artr.ru/Motor/ArmaTrade_Motor.htm (дата обращения 10.12.2022).
6. Мегаватт. Технические характеристики электродвигателей. – URL: <https://megavattspb.ru/prod1-1-th.html> (дата обращения 10.12.2022).
7. Ленточные конвейеры КЛДМ. Технические характеристики. – URL: <http://www.zvdsn.ru/catalog/konvejery/lentochnyj/> (дата обращения 10.12.2022).
8. Guzha E.D., Romanenko V.A., Skorokhod M.A. Simulation and histogram modeling of conveyor systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. Issue 3.
9. Romanenko V.A., Skorokhod M.A., Guzha E.D. Fuzzy control in the simulation model of airport baggage handling systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. Issue 4.
10. Koenig F., Found P, Kumar M., Rich N. Condition-based maintenance for major airport baggage systems // Journal of Manufacturing Technology Management. 2021. Vol. 32. No. 3. P. 722-741.
11. Koenig F., Found P., Kumar M. Improving maintenance quality in airport baggage handling operations // Total Quality Management & Business Excellence. 2019. Vol. 30. P. 35-52.
12. Дмитриева В.В., Сизин П.Е. Оценка надежности става ленточного конвейера при различных схемах резервирования роликоопор // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. №7. С.85–95.
13. Козак Т.Н. Анализ параметров надежности прибора досмотрового контроля // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. Т. 4. № 9(58). С. 49-52.
14. Конвейеры: справочник / под общ. ред. Ю. А. Пертена. – Л.; Машиностроение, 1984. – 367 с.

15. Юдаев В.В., Богданов А.В., Королев О.А. Моделирование систем физической безопасности на основе аппарата сетей Петри // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2019. № 4. С. 82-88.

**EFFICIENCY EVALUATION OF THE COMBINED SUPPLYING SPARES PARTS
SYSTEM OF AIRPORTS ENTERPRISES**

M.A. Skorokhod

*Samara University,
Samara, Russian Federation*

Abstract. The efficiency of the combined supply strategy in solving the optimization problem of the supplying spares parts system to airport production departments in the hub-and-spoke air transportation business model is determined.

Key words: efficiency, hub-and-spoke model, supplying spares parts, baggage handling system, optimization.