

# ЛОГИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-4-83-91

УДК 336.31

## КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК И ПОСТРОЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ ДЛЯ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ

**И.Н. Омельченко, А.Е. Бром, И.Д. Сидельников**

*Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана  
Россия, 105005, Москва, ул. 2-ая Бауманская, 5, стр.1*

*Статья посвящена задаче оптимизации процессов материально-технического снабжения сложной техники. В структуре затрат на эксплуатацию и послепродажное обслуживание технической продукции затраты, связанные с материальным снабжением, являются одной из главных составляющих. Для сложной технической продукции оптимизация снабженческой деятельности должна базироваться на критерии минимизации совокупных затрат в цепях поставок при обеспечении требуемого уровня надежности. Авторы предлагают при определении критерия эффективности и построении соответствующей целевой функции учитывать специфику материальных ресурсов, обусловленную конструкцией изделий и процессами технического обслуживания при эксплуатации. В статье выделяются логистические факторы, оказывающие прямое влияние на критерий эффективности. Факторы систематизированы в группы с учетом уровня стандартизации и агрегатирования изделия, наличия систем диагностики предотказного состояния, а также требований к упаковке и транспортировке запасных частей и квалификации персонала, необходимого в процессе технического обслуживания. Приводится пример математической формализации целевой функции в задачах оптимизации цепей поставок с учетом разработанных факторов. Представленный подход позволяет исследовать степень влияния проектно-конструкторской деятельности на эффективность цепей поставок в системах материально-технического снабжения*

**Ключевые слова:** критерий эффективности, оптимизация материального снабжения, минимизация затрат, цепь поставок, логистический фактор

### Для цитирования:

Омельченко И.Н., Бром А.Е., Сидельников И.Д. Критерий эффективности цепей поставок и построение целевой функции в задачах оптимизации материально-технического снабжения для сложной техники // Организатор производства. 2017. Т.25. №4. С. 83-91.

DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-4-83-91

## THE CRITERION OF SUPPLY CHAIN EFFICIENCY AND PLOTTING THE TARGET FUNCTION IN TASKS OF LOGISTICS OPTIMIZATION FOR COMPLEX EQUIPMENT

### Сведения об авторах:

**Ирина Николаевна Омельченко** (д-р техн. наук, д-р экон. наук, [dekan@ibm.bmstu.ru](mailto:dekan@ibm.bmstu.ru)), заведующий кафедрой “Промышленная логистика”, декан факультета Инженерный бизнес и менеджмент.

**Алла Ефимовна Бром** (д-р техн. наук, [abrom@yandex.ru](mailto:abrom@yandex.ru)), профессор кафедры “Промышленная логистика”.

**Иван Дмитриевич Сидельников** ([sid@bmstu.ru](mailto:sid@bmstu.ru)), ассистент кафедры “Промышленная логистика”.

### On authors:

**Irina N. Omelchenko** (Dr. Sci. (Technical), Dr. Sci. (Economy), [dekan@ibm.bmstu.ru](mailto:dekan@ibm.bmstu.ru)), The head of the Chair of Industrial Logistics, the Dean of the Faculty of Engineering Business and Management.

**Alla E. Brom** (Dr. Sci. (Technical), [abrom@yandex.ru](mailto:abrom@yandex.ru)), Professor of the Chair of Industrial Logistics.

**Ivan D. Sidelnikov** ([sid@bmstu.ru](mailto:sid@bmstu.ru)), Assistant of the Chair of Industrial Logistics.

I.N. Omelchenko, A.E. Brom, I.D. Sidelnikov

Moscow State Technical University, named after N.E. Bauman  
5, building 1, the 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Moscow, 105005, Russia,

The article is devoted to the problem of optimizing the processes of complex equipment logistics. Within the structure of operating and after-sales service costs of technical products, the logistics costs are one of the key components. For complex technical products, the optimization of logistics must be based on the criterion of minimizing the aggregate costs in supply chains while ensuring the required level of reliability. For defining the efficiency criteria and plotting the corresponding target function, the authors propose to consider the specificity of material resources, determined by the design of products and the processes of maintenance during operation. The article highlights the logistic factors that directly affect the criterion of efficiency. The factors are summarized in groups with regards to the level of product standartization and assembly, the availability of systems for monitoring the pre-failure condition and the requirements for packaging and transportation of spare parts, as well as for qualification of the personnel, engaged in the process of maintenance. The article presents the example of mathematical formalization of the target function in the problems of optimizing supply chains, taking the developed factors into account. The proposed approach helps to investigate the extent to which the design and engineering activity impacts the efficiency of supply chains in logistics systems

**Key words:** criterion of efficiency, optimization of logistics, cost minimization, supply chain, logistic factor

**For citation:**

Omelchenko I.N., Brom A.E., Sidelnikov I.D. (2017). The criterion of supply chain efficiency and plotting the target function in tasks of logistics optimization for complex equipment. *Organizator proizvodstva* = Organizer of Production, 25(4), 83-91.

**DOI:** 10.25065/1810-4894-2017-25-4-83-91 (in Russian)

**Введение (Introduction)**

Материально-техническое снабжение создает условия для нормальной производственно-хозяйственной деятельности и является источником рационализации и оптимизации функционирования предприятий и организаций в целом. В структуре затрат на эксплуатацию и послепродажное обслуживание продукции затраты, связанные с формированием ресурсно-сырьевой базы и сопутствующими логистическими процессами (закупка, транспортировка, хранение, и т.д.), являются одной из наиболее значимых составляющих. Решение проблемы обеспечения эффективного материально-технического снабжения (МТС) создает предпосылки для повышения производительности экономических систем любого масштаба.

Последние десятилетия ознаменовались преобразованием принципов управления материальным потоком и развитием логистических концепций, методов и инструментов, направленных на решение задач координации, оперативности и эффективности. Переход к концепциям Just in Time («точно в срок») и

бережливого производства обусловлен широкими потенциальными возможностями для минимизации логистических затрат, возникающих в процессе организации производственной и снабженческой деятельности. Этим фактом объясняется постоянно возрастающий интерес к исследованиям и разработкам математических методов и моделей в области оптимизации процессов материально-технического снабжения [1, 2, 3, 4, 5, 6].

**Теория (Theory)**

В общем плане оптимизация процессов МТС представляет собой подход, основанный на анализе соответствующих видов затрат и оптимизации отдельных логистических процессов и элементов в цепях поставок (ЦП). Критерием эффективности является минимизация совокупных затрат в ЦП и целевая функция при построении оптимизационной модели процессов МТС имеет следующий вид [1, 3, 6,7]:

$$\sum Z_{\text{ЦП}} \rightarrow \min,$$

Не отрицая истинности данного подхода, следует отметить, что в такой области, как эксплуатация машиностроительной продукции, необходимо учитывать специфику материальных ресурсов, накладывающую определенные требования. В частности, для продукции машиностроительного комплекса недопустимо ставить вопрос о тотальной минимизации затрат в ЦП, так как для сложных технических систем обязательно выполнение требуемого уровня надежности при эксплуатации [1, 2, 5, 7, 8, 9, 10]. Особенно критичен данный подход для техники военного и специального назначения (ТВСН). Он может привести к резкому снижению уровня надежности техники, а как следствие – невозможности выполнения частями своих задач по обеспечению безопасности и высокой степени боевой готовности.

Для технической продукции оптимизация МТС базируется на идее минимизации совокупных затрат ЦП при обеспечении требуемого уровня надежности изделий в эксплуатации, который отражается через коэффициент технической готовности  $K_{Т.Г.}$ , и экономико-математическая модель может быть представлена в общем виде как:

$$\sum Z_{ЦП} \rightarrow \min, \\ K_{Т.Г.} \leq 1;$$

Коэффициент технической готовности  $K_{Т.Г.}$  - это вероятность того, что изделие в данный момент времени находится в работоспособном состоянии, определенная в соответствии с проектом при заданных условиях функционирования и технического обслуживания [8, 9, 11]:

$$K_{Т.Г.} = \frac{t_0}{t_0 + t_B};$$

где  $t_0$  – средняя наработка на отказ, ч.;

$t_B$  – статистическое среднее время восстановления, ч.;

В некоторых случаях (например, для промышленного энергетического оборудования) для

оценки надежности и эффективности эксплуатации может использоваться коэффициент технического использования [8, 12]:

$$K_{Т.И.} = \frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_p + \bar{t}_{То} + \bar{t}_{рвм}},$$

где  $\bar{t}_p$  – математическое ожидание наработки восстанавливаемого объекта;

$\bar{t}_{То}$  – математическое ожидание интервалов времени простоя при техническом обслуживании;

$\bar{t}_{рвм}$  – математическое ожидание времени, затрачиваемое на плановые и не плановые ремонты.

Следовательно, эффективность эксплуатации техники самым прямым образом связана с временем восстановления (временем простоя), длительность которого обуславливается скоростью реакции в цепях поставок в системе МТС. В свою очередь, номенклатура и специфика материальных ресурсов, необходимых для восстановительных работ, зависит от особенностей конструкции и обслуживания технических систем в процессе эксплуатации. Назовем эти особенности логистическими факторами, формализуем и исследуем их влияние на основные группы затрат, входящие в критерий эффективности МТС.

#### Данные и методы (Data and Methods)

Логистические факторы систематизируются по группам в зависимости от областей, в которых они проявляются:

- первая группа охватывает области проектирования и эксплуатации продукции;
- вторая группа охватывает вопросы, связанные с управлением персоналом;
- третья группа включает логистические функционалы транспортировки и хранения запасов материалов, комплектующих и запасных частей (МКЗ);
- четвертая группа охватывает вопросы обеспечения безопасности и надежности.

Все укрупненные группы и входящие в них логистические факторы представлены в таблице [13].

Логистические факторы, влияющие на эффективность цепей поставок

Укрупненная группа	Коэффициент в целевой функции	Характеристика логистического фактора
Стандартизация узла/агрегатирование и унификация	$f_1$	Степень унификации элемента/запасной части(ЗЧ). Высокая степень унификации позволяет осуществлять закупку и хранение однотипных МКЗ для обслуживания сразу нескольких узлов изделия.
Управление персоналом	$f_2$	Включает в себя специальности обслуживающего персонала, перечень требуемых специальностей и квалификаций, необходимых для осуществления обслуживания каждого из видов техники.
	$f_3$	Состоит из плана обучения обслуживающего персонала. График обучения персонала для достижения требуемых квалификаций, а также изучение особенностей обслуживания новых видов техники.
Логистические функционалы транспортировки и хранения	$f_4$	Транспортировка МКЗ. В зависимости от вида МКЗ и его характеристик (габариты, хрупкость и т.п.) нужна необходимая упаковка, что в свою очередь определяет вид транспорта для перевозок. В случае перевозок несколькими видами транспорта необходимо анализировать упаковку, а также учитывать ограничения по весу и объему.
	$f_5$	Хранение. Специфика МКЗ - размеры, материал, вид обработки и защиты обуславливают требования к их хранению.
Наличие систем безопасности и диагностики	$f_6$	Элементы и средства, обеспечивающие безопасность эксплуатации оборудования
	$f_7$	Системы диагностики неисправностей и мониторинга степени износа МКЗ во всех элементах и узлах изделия.

Первая группа логистических факторов «Стандартизация узла/агрегатирование и унификация» имеет особую значимость по причине прямого воздействия на затраты в ЦП. Применение типовых узлов и агрегатов в конструкции изделия позволяет снизить затраты на все процессы, связанные с материально-техническим снабжением – упаковку, хранение, транспортировку, обслуживание.

Снижение затрат на техническое обслуживание изделий объясняется следующими факторами:

1. наличие доступа при обслуживании;
  2. соединение, обеспечивающее простоту демонтажа МКЗ;
  3. простота обслуживания элемента и узла.
- При проектировании изделий все эти факторы находят выражение прежде всего в стандартизованных соединениях, которые позволяют осуществлять монтаж и демонтаж оборудования без применения специальных инструментов, что, в свою очередь, также минимизирует затраты на закупку и хранение оснастки.

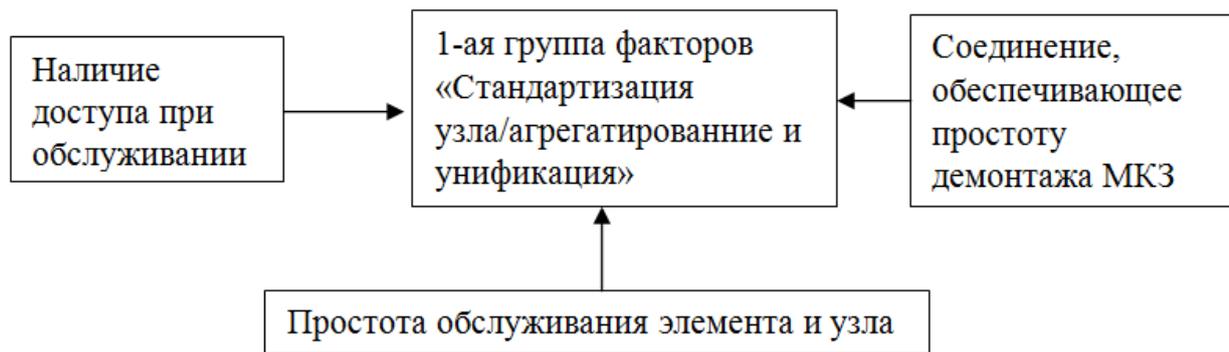


Рис. 1. Логистические факторы, оказывающие влияние на первую укрупненную группу

Вторая группа «Управление персоналом» состоит из факторов «специальность обслуживающего персонала» и «обучение обслуживающего персонала». Данные факторы являются взаимозависимыми, чем выше требуемое значение фактора «специальность обслуживающего персонала», тем выше значение фактора «обучение». Их значение в большей степени определяется значением остальных укрупненных групп. Так, высокий коэффициент первой группы логистических факторов в значительной степени позволит снизить требования к специальности персонала, поскольку использование типовых соединений, элементов и оборудования, для осуществления обслуживания и ремонта, позволяет снизить требования как по квалификации мастеров, так и избавляет руководство предприятия от необходимости содержать узкоспециализированные бригады, задачей которых является обслуживание техники с особой конструкцией. Четвертая группа факторов, аналогично первой, в случае наличия продуманной системы мониторинга состояния техники, контрольных точек, а также средств защиты, позволяет снизить количество специалистов по диагностики оборудования, а также требования по их квалификации.

Третья укрупненная группа «Логистические функционалы» включает в себя факторы «транспортировка МКЗ» и «хранение». Затраты на доставку и хранение составляют значительную долю в совокупных затратах на поддержку эксплуатации технической продукции.

В этой группе возможно выделить факторы, которые косвенно влияют на величину этих затрат, и могут также относиться к логистическим:

1. наличие защиты от коррозии,
2. упаковка МКЗ,
3. маркировка МКЗ.

Коррозостойкость позволяет снизить затраты, связанные с упаковкой МКЗ, а также использовать большее количество видов транспорта. При высокой коррозостойкости изделий для производителей и эксплуатантов открываются новые возможности в плане длительного хранения МКЗ. Грамотная маркировка, в свою очередь, снижает затраты, связанные с перевалкой/перегрузкой при использовании нескольких видов транспорта, а также при поиске необходимых МКЗ в момент обслуживания техники.



Рис. 2. Логистические факторы, оказывающие влияние на третью укрупненную группу

Четвертая укрупненная группа логистических факторов «Наличие систем безопасности и диагностики» включает в себя факторы, касающиеся безопасности и поиска неисправностей в элементах и узлах изделия. Поскольку часто эксплуатация машиностроительной продукции связана с повышенным риском для жизни и здоровья персонала и окружающей среды, то логистический фактор «безопасность» имеет особое значение. Фактор «поиск неисправностей в элементах и узлах» включает в себя отладку и использование системы мониторинга состояния оборудования. В этой группе можно выделить факторы косвенного влияния:

наличие контрольных точек для диагностики неисправностей,

конструктивные средства защиты от последствий отказов любого вида.

Логистический фактор «контрольные точки» позволяет минимизировать риски внеплановых отказов. Фактор «конструктивные средства защиты от последствий отказов любого вида» позволяет избежать критических последствий при отказе. Первый косвенный фактор оказывает влияние на подгруппы «безопасность» и «поиск неисправностей в элементах и узлах», второй же косвенный фактор оказывает влияние только на подгруппу «безопасность».

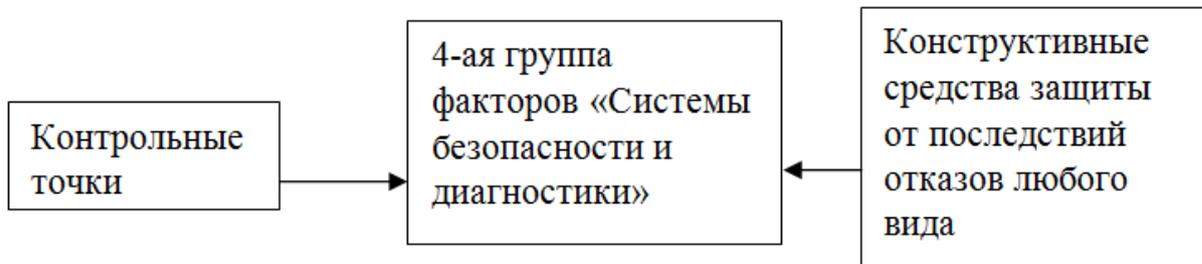


Рис. 3. Логистические факторы, оказывающие влияние на четвертую укрупненную группу

**Модель (Method sor Model)**

Таким образом, целевая функция, отражающая критерий эффективности ЦП в системе МТС технических изделий должна содержать следующие элементы [14, 15, 16]:

1. затраты на приобретение МКЗ,
2. затраты на хранение запасных частей между пополнениями запаса,
3. затраты, связанные с заморозкой капитала,
4. затраты, связанные с простым оборудования
5. дополнительные элементы, осуществляющие корректировку значения целевой функции в соответствии с логистическими факторами, характеризующими конкретное изделие:

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^q (Z_{1i} + Z_{2i} + Z_{3i} + Z_{4i}) + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^7 k_j Z_{1i} + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^7 r_j Z_{2i} + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^7 m_j Z_{3i} + \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^7 q_j Z_{4i}$$

где:  $i$  - индекс рассматриваемого вида МКЗ;  
 $j$  - индекс логистического фактора;  
 $k_j$  - коэффициент влияния  $j$ -го логистического фактора на 1 группу затрат;

$r_j$  - коэффициент влияния  $j$ -го логистического фактора на 2 группу затрат;

$m_j$  - коэффициент влияния  $j$ -го логистического фактора на 3 группу затрат;

$q_j$  - коэффициент влияния  $j$ -го логистического фактора на 4 группу затрат.

Проанализируем группы затрат, входящие в целевую функцию.

1) Первая группа затрат – это затраты, связанные с приобретением необходимого объема МКЗ ( $Z_1$ ). В эту группу входит:

1. стоимость МКЗ в процессе хранения;
2. стоимость МКЗ, находящихся в процессе поставки с завода-изготовителя.

Корректировка за счет логистических факторов будет выглядеть следующим образом:

$$Z_{1i} = \begin{cases} k_j * C_i * n_i, & X_i \leq n_i \\ k_j * (C_i * n_i + (C_i + D_{di}) * (X_i - n_i)), & X_i > n_i \end{cases}$$

где  $C_i$  – стоимость единицы  $i$ -го вида МКЗ,  
 $D_{di}$  – затраты, связанные с доставкой единицы рассматриваемого вида МКЗ,

$X_i$  – кол-во отказов (необходимых замен) за период между поставками рассматриваемого вида МКЗ на склад,

$n_i$  – кол-во запасных элементов данного вида МКЗ.

Первая группа затрат с учетом логистических факторов в целевой функции примет вид:

$$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b k_j * (2 * (C_i * n_i) + (C_i + D_{di}) * \int_{n_i}^{\infty} (x_i - n_i) * F(x_i) dx_i)$$

2) Вторая группа затрат – это расходы на хранение в период между поставками МКЗ на склад, с учетом логистических факторов будет иметь следующий вид:

$$Z_{2i} = r_j * \bar{H}_i * t_{sti} * n_i$$

$\bar{H}_i$  – средние расходы, связанные с хранением  $i$ -го вида МКЗ в единицу времени,

$t_{sti}$  – время хранения  $i$ -го вида МКЗ.

Вторая группа затрат с учетом логистических факторов в целевой функции примет вид:

$$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b r_j * \bar{H}_i * t_{sti} * n_i$$

3) Третья группа затрат - это потери, связанные с неиспользованием (невостребованностью) МКЗ, хранящихся на складе:

$$Z_{3i} = \begin{cases} m_j * C_{fi} * (n_i - X_i), & X_i \leq n_i \\ 0, & X_i > n_i \end{cases}$$

$C_{fi}$  – средние потери от вложения финансов в МКЗ, которые не использованы за время хранения  $t_{sti}$  одного элемента МКЗ рассматриваемого типа.

$$C_{fi} = C_i(e^{kt_{sti}} - 1), \text{ где } k = \frac{1}{8760} * \ln 1,35.$$

Третья группа затрат с учетом логистических факторов в целевой функции примет вид:

$$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b m_j * (C_i(e^{kt_{sti}} - 1) * \int_0^{n_i} (n_i - x_i) * F(x_i) dx_i)$$

4) Четвертая группа затрат - это потери, связанные с простоем оборудования во время проведения восстановительных ремонтных работ:

$$Z_{4i} = \begin{cases} q_j * (P_{bi} * \bar{m}_i * X_i) & X_i \leq n_i \\ q_j * (P_{bi} * [\bar{m}_i * X_i + \bar{m}_{di} * (X_i - n_i)]), & X_i > n_i \end{cases}$$

$P_{bi}$  – средние потери, связанные с простоем оборудования,

$\bar{m}_i$  – математическое ожидание времени установки рассматриваемого элемента МКЗ,

$\bar{m}_{di}$  – математическое ожидание времени доставки рассматриваемого элемента МКЗ.

Четвертая группа затрат с учетом логистических факторов в целевой функции примет вид:

$$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b q_j * (P_{bi} * \bar{m}_i * \int_0^{n_i} (n_i - x_i) * F(x_i) dx_i + (P_{bi} * (\bar{m}_i + \bar{m}_{di}) + (C_i + D_{di})) * \int_{n_i}^{\infty} (x_i - n_i) * F(x_i) dx_i)$$

### Полученные результаты (Results)

Раскроем целевую функцию, подставив соответствующие элементы:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_i = & (2C_i + \bar{H}_i * t_{sti}) * n_i + [P_{bi} * \bar{m}_i + C_i(e^{kt_{sti}} - 1)] * \int_0^{n_i} (n_i - x_i) * F(x_i) dx_i + \\ & (P_{bi} * (\bar{m}_i + \bar{m}_{di}) + (C_i + D_{di})) * \int_{n_i}^{\infty} (x_i - n_i) * F(x_i) dx_i + \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b k_j * (2 * (C_i * n_i) + \\ & (C_i + D_{di}) * \int_{n_i}^{\infty} (x_i - n_i) * F(x_i) dx_i) + \\ & \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b m_j * (C_i(e^{kt_{sti}} - 1) * \int_0^{n_i} (n_i - x_i) * F(x_i) dx_i) + \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b r_j * \bar{H}_i * t_{sti} * n_i + \\ & \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b q_j * (P_{bi} * \bar{m}_i * \int_0^{n_i} (n_i - x_i) * F(x_i) dx_i + (P_{bi} * (\bar{m}_i + \bar{m}_{di}) + (C_i + D_{di})) * \\ & \int_{n_i}^{\infty} (x_i - n_i) * F(x_i) dx_i) \end{aligned}$$

Таким образом, целевая функция содержит 7 подфункций, осуществляющих корректировку затрат в соответствии с логистическими факторами, отражающими особенности конструкции и обслуживания техники. Необходимо отметить, что при данном подходе учитывались только основные группы затрат, присущие системе МТС любого предприятия, эксплуатирующего сложное техническое оборудование. При более детальном рассмотрении возможно добавление

(или исключение) затрат, связанных с конкретной организацией МТС на предприятии.

В постановке задачи оптимизации МТС для такого критерия эффективности (на минимизацию затрат) могут в качестве ограничений использоваться данные по процессам эксплуатации техники на конкретном предприятии: ее техническому обслуживанию, материальному снабжению, кадровому обеспечению, имеющемуся оборудованию на предприятии, складским и производственным площадям, и т.д.

### **Заключение (Conclusions or Discussion and Implication)**

Использование предложенного подхода, в свою очередь, потребует систематического накопления и обработки статистической информации по конструкции изделия и реальным процессам эксплуатации. Это даст возможность увидеть, какие факторы соединяют области проектно-конструкторской деятельности и логистики, а математическое моделирование этих взаимосвязей позволит провести анализ на чувствительность к определенным факторам и оценить характер их взаимного влияния. Все вышеизложенное в результате обеспечит максимальное значение коэффициента технической готовности изделий в эксплуатации с минимальными затратами.

### **Библиографический список**

1. Бром А.Е. Сидельников И.Д. Организация материального снабжения для техники военного и специального назначения // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2016. №4. С. 56-61.
2. Омельченко И.Н., Кузнецова Д.О. Логистическое проектирование цепи поставок с учетом оценки эксплуатации // Гуманитарный вестник. 2013г. №10. С.15.
3. Лубенцова В.С. Математические методы и модели в логистике; под ред. В.П. Радченко. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. 157 с.
4. Богданов А.И., Селезнев А.А. Математические методы и модели в логистике:

монография. СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2016. 105 с.

5. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Экономико-математические методы и модели в логистике. Процедуры оптимизации. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 290 с.

6. Бочкарев А. А. Теория и методология процессного подхода к моделированию и интегрированному планированию цепей поставок: автореф. дис. ... д-р экон. наук: 08.00.15 . СПб., 2009. 39 с.

7. Бочкарев А.А., Бочкарев П.А. Проблема выбора поставщиков и оптимизации размера партии поставки в условиях изменяющегося спроса // Логистика и управление цепями поставок. 2010. №1(60). С. 37-42.

8. Бродецкий Г.Л. Управление запасами: учеб. пособие. М.: Эксмо, 2008. 352 с.

9. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. учеб. пособие для ВТУЗов / 2-е изд., стереотип. М.: Высш. шк., 2000. 480 с.

10. Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок / пер. с англ. под ред. В.С. Лукинского. СПб.: Питер, 2006. 720 с.

11. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. / 9-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2003 479 с.

12. Григорьев М.Н., Долгов А.П., Уваров С.А. Управление запасами в логистике: методы, модели, информационные технологии: учебное пособие. СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2006. 368 с.

13. Сидельников И.Д., Барабушка А.С., Бром А.Е. Особенности конструкции и обслуживания техники как ключевые факторы логистики при создании цепей поставок в машиностроении // Логистика и управление цепями поставок. 2017. №4 (81). С. 56-61.

14. Тихомирова А.Н., Сидоренко Е.В.. Математические модели и методы в логистике. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 320с.

15. Острейковский В.А. Теория надежности: учебник для вузов. М.: Высш. шк., 2003. 463 с.

16. Орлов А.И. Прикладная статистика. М.: Экзамен, 2006. 671 с.

Поступила в редакцию – 12 ноября 2017 г.

Принята в печать – 20 декабря 2017 г.

References

1. Brom A.E., Sidelnikov I.D. (2016). The organization of procurement for military and special-purpose equipment. Moscow: The Bulletin of Moscow State Regional University. Series: «Economics», № 4. 56-61.
2. Omelchenko I.N., Kuznetsova D.O. (2013). The logistic planning of supply chains with account of operational assessment. Moscow: MSTU, named after N.E.Bauman, The Bulletin of Humanitarian Science, №10, 15.
3. Lubentsova V.S. (2008). Mathematical methods and models in logistics; under editorship of V.P.Radchenko. Samara: Samara State Technical University, 157.
4. Bogdanov A.I., Seleznev A.A. (2016). Mathematical methods and models in logistics: a monograph. St.-Petersburg: The Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, 105.
5. Brodetsky G.L., Gusev D.A. (2012). Economic-mathematical methods and models in logistics. Optimizing procedures. Moscow: The Publishing Centre «Akademiya», 290.
6. Bochkarev A.A. (2009). The theory and methodology of process approach to modelling and integrated planning of supply chains: the abstract of the Doctoral Dissertation in Economic Science: 08.00.15 / Bochkarev Andrey Aleksandrovich. St.-Petersburg: St.-Petersburg State Institute of Economics and Management, 39.
7. Bochkarev A.A., Bochkarev P.A. (2010). The problem of selecting suppliers and optimizing the batch size of supply in conditions of volatile demand // Logistics and management of supply chains. №1 (60). 37-42.
8. Brodetsky G.L. (2008). Inventory management: a training manual. Moscow: Eksmo, 352.
9. Ventsel E.S., Ovcharov L.A. (2000). Probability theory and its engineering applications. A training manual for Higher Technical Universities. 2nd edition, stereotyped. Moscow: Vyschaya Shkola, 480.
10. Shapiro J. (2006). Modelling the supply chain; under editorship of V.S.Lukinsky; transl. from English. St.-Petersburg: Piter, 720.
11. Gmurman V.E. (2003). Probability theory and mathematical statistics: a training manual for Universities. – 9th edition, stereotyped. Moscow: Vyschaya Shkola, 479.
12. Grigoriev M.N., Dolgov A.P., Uvarov S.A. (2006). Inventory management in logistics: methods, models, informational technologies: a training manual – St.-Petersburg: The Publishing House «Business Press», 368.
13. Sidelnikov I.D., Barabushka A.S., Brom A.E. (2017). The features of design and servicing of machinery as key factors of logistics in creating supply chains in machine-construction. Moscow: Logistics and supply chain management, № 4 (81), 56-61.
14. Tikhomirov A.N., Sidorenko E.V. (2010). Mathematical models and methods in logistics. Moscow: National Research Nuclear University of Moscow Physical Engineering Institute, 320.
15. Ostreikovskiy V.A. (2003). The theory of reliability: a guidebook for Universities. Moscow: Vyschaya Shkola, 463.
16. Orlov A.I. (2006). Applied statistics. Moscow: Ekzamen, 671 p.

Received – 12 November 2017.

Accepted for publication – 20 December 2017.