

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-109-124

УДК 004.94

## ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

*Я.Е. Львович, А.П. Преображенский,  
Т.В. Аветисян*

*Оптимизация транспортной работы необходима при неконтролируемом росте описанных издержек. Процесс оптимизации транспортных расходов на предприятии начинается с анализа текущей логистической стратегии и сбора рекомендаций по ее коррекции. Анализу подвергаются такие аспекты транспортной системы предприятия: способ перемещения грузов; выбор типа транспортного средства и его конкретной модели; подбор компании-перевозчика и прочих логистических посредников; схема расположения складских терминалов компании. Оптимизированная транспортная система позволяет снизить затраты на производство и реализацию продукции, увеличить эффективность работы персонала.*

*Существует три основных направления, нововведения в которых обеспечат снижение затрат на перевозку грузов и пассажиров: выбор оптимальных транспортных средств, подбор оптимально расположенных разгрузочно-погрузочных пунктов, анализ целесообразности владения собственным парком транспортных средств.*

*В работе рассматриваются возможности управления транспортными системами при условии внешних воздействий. Приведена иллюстрация схемы алгоритма решения оптимизационной задачи, связанной с выбором начальных действий. Показана возможность применения прогностических моделей.*

*Предложенные в работе подходы могут быть полезными при улучшении работы различных транспортных систем.*

**Ключевые слова:** транспортная система; управление; оптимизация; организация

## OPTIMIZATION AND STATE FORECASTING IN TRANSPORTATION SYSTEMS

*Ya. Ye. Lvovich, A.P. Preobrazhenskiy,  
T.V. Avetisyan*

*Optimization of transport work is necessary in case of uncontrollable growth of the described costs. The process of optimizing transport costs at the enterprise begins with an analysis of the current logistics strategy and collection of recommendations for its correction. The following aspects of the transport system of the company are subject to analysis: the method of movement of goods; the choice of vehicle type and its specific model; the selection of the carrier company and other logistics intermediaries; the layout of the company's storage terminals. An optimized transport system can reduce the cost of production and sales of products and increase staff efficiency.*

*There are three main directions in which innovations will ensure the reduction of costs for cargo and passenger transportation: the choice of optimal vehicles, the selection of optimally located unloading and loading points, the analysis of the feasibility of own fleet of vehicles.*

*The paper considers the possibilities of transport system management under the condition of external influences. An illustration of the algorithm scheme of solving the optimization problem related to the choice of initial actions is given. The possibility of using prognostic models is shown.*

*The approaches proposed in the work can be useful in improving the performance of various transportation systems.*

**Keywords:** *transport system; management; optimization; organization*

### **Введение**

Внедрение различных электронных справочных систем в настоящее время в транспортной отрасли происходит достаточно регулярным образом. Активным образом применяются системы интеллектуальной поддержки работы специалистов, когда ре-

шаются задачи, связанные с прогнозированием, диагностикой, планированием [1, 2]. В ряде случаев работники сталкиваются с ситуациями, в которых требуется сделать выбор по соответствующему инструментарию, такому, который будет максимальным образом полезен в рассматриваемой ситуации. Для этого необходимо обладать требуемым опытом работы. Такие качества характерны для опытных работников, которые обладают большим стажем практической работы. В этой связи представляет интерес применение новых информационных технологий, чтобы осуществлять формирование технических советующих систем, в них объединяются знания и опыт работников.

Когда разрабатываются компьютерные системы, которые связаны с интеллектуальной поддержкой работы специалистов транспортной отрасли, необходимо обращать внимание на проблемы создания баз знаний. В них входят модели, направленные на принятие оптимальных решений, прогнозирования, диагностику. Поэтому для повышения качества и надежности в вычислительных процедурах необходимо, чтобы были разработаны различные подходы. Должны быть построены прогностические и оптимизационные модели. Реализуется системный анализ по полученным данным. Они предварительным образом обрабатываются. Архивная информации структурируется в рамках единой методики. Для комплексной оценки эффективности достигаемых результатов является весьма важным проведение разработок по интегральным показателям [3].

В анализируемой предметной области существуют проблемы для специфики представления знаний, когда организуются процессы, направленные на оптимальное планирование. Нет количественной оценки по многим показателям. Определенный процент, связанный с ложными измерениями можно встретить в архивной информации. Могут потребоваться свои подходы при рассмотрении конкретных транспортных объектов в силу их неоднородности [4].

При рассмотрении широкого класса задач в транспортных системах можно использовать методы системного анализа и математического моделирования [5].

Целью данной работы является разработка методического подхода для оптимизации и прогнозирования состояния в транспортных системах.

### **Анализ возможностей оптимизации действий в транспортной системе**

Множество различных видов воздействий оказывают влияние на то, как будет сформирован план работ в транспортной системе. Некоторые из воздействий являются между собой несовместимыми. Затраты при этом являются ограниченными. Специалисты стремятся к тому, чтобы обеспечить достижение максимального эффекта. Опыт и интуиция специалиста могут оказывать влияние на то, как будут планироваться различные виды мероприятий в системе. Например, различные схемы действий могут быть применены для одних и тех же ситуаций. Существуют возможности для того, чтобы замещать по каждой из схемы запасные части на основе их аналогов. Они будут отличаться с точки зрения совместимости, стоимости, эффективности. Эффект тех мероприятий, которые планируются, может быть спрогнозирован на базе компьютерных технологий и с привлечением соответствующих математических моделей. При этом план в дальнейшем может быть скорректирован. Понятно, что начальные действия в системе заметным образом будут оказывать влияние на результативность реализуемых схем [6].

Начальный план мероприятий по ремонту в системе может быть автоматизированным образом выбран на основе оптимизационной модели. Альтернативную переменную  $x_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) мы соотносим с каждым элементом воздействий в системе. Она будет принимать значение 1, когда применяется такое воздействие, и 0 в противном случае. Вводятся коэффициенты «ценности»  $a_j$  и с точки зрения предполагаемого эффекта происходит ранжирование всех воздействий. Совокупность различных мероприятий анализируется и происходит формирование целевой функции:

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \rightarrow \max. \quad (1)$$

С точки зрения затрат должны быть выполнены ограничения

$$\sum_{j=1}^n z_j x_j \leq Z, \quad (2)$$

В ходе моделирования используются  $z_j$  – затраты, связанные с  $j$ -м воздействием;

$Z$  рассматриваются в виде общих затрат.

Существуют ограничения, связанные с несовместимостью различных мероприятий:

$$x_{j_1}^t + x_{j_2}^t \leq 1; \quad j_1, j_2 = \overline{1, n}, \quad t = \overline{1, T}, \quad (3)$$

В ходе моделирования  $T$  рассматривается в виде числа возможных пар таких воздействий, которые являются несовместимыми.

Используются ограничения по взаимозаменяемым запасным частям, которые будут находиться в одной группе,

$$\sum_{i \in R_a} x_i^a \leq 1, \quad a = \overline{1, A}, \quad (4)$$

В ходе моделирования  $A$  – число групп, в которые входят несколько запасных частей-аналогов;

$R_a$  – рассматривается в виде совокупности взаимозаменяемых запасных частей, которые относятся к  $a$ -й группе.

Могут быть введены дополнительные ограничения

$$\sum_{i \in R_a} x_i^a = 1, \quad a = \overline{1, A} \quad (5)$$

Они используются, если в решении обязательно должен использоваться определенный элемент из каждой группы запасных частей-аналогов. Задача дискретного программирования, связанная с «ранцем», получается как результат формирования модели. Методы многоальтернативной оптимизации применяются для того, чтобы решать эту задачу.

Аналитические зависимости во многих случаях отсутствуют, может быть большая размерность, в зависимостях можно встретиться с их дискретным и нелинейным характером – это относится к характеристикам задач целочисленного программирования.

Следует применять методы оптимизации [7], чтобы решать такие задачи. Тогда можно обеспечить исключение перебора по всем возможным вариантам. Будут учтены особенности таких задач.

Рассмотрим возможности применения метода ветвей и границ для разработки алгоритма решения задачи (1)-(4). При этом оценка по верхней границе целевой функции [8] будет осуществляться простым и эффективным подходом.

Проведем замену  $Z_j$  на  $Z_{1j}$ ,  $Z$  на  $b_1$ ,  $Z_{j_1}^t = 1$ ,  $Z_{j_2}^t = 1$  и  $Z_i^a = 1$  на  $Z_{ij}$ ,  $X_{j_1}^t$ ,  $X_{j_2}^t$  и  $X_i^a$  на  $X_i$ . При этом задачу (1)-(4) представим таким способом:

$$L = \sum_{j=1}^n a_j X_j \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} X_j \leq b_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

$$X_j \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (8)$$

в ходе моделирования  $m = T+1$ ,  $b_i = 1$  при  $i = \overline{2, m}$ , при этом  $a_j \geq 0$ ,  $z_j \geq 0$ .

Введем обозначение  $U$  – в виде множества переменных  $X_j$ ;

$S$  – считается множеством фиксированных переменных, которые будут входить в допустимое решение;

$E_S$  – рассматривается в виде множества зависимых переменных. Для них нет возможности для включения в множество  $S$ , поскольку по ним происходит выполнение неравенства  $Z_{ij} > b_i - \sum_{j \in S} z_{ij} X_j$ ;

$G_S$  – рассматривается в виде множества свободных переменных. На их базе реализуется процесс выбора, чтобы включать в  $S$  очередную переменную.

Пусть используется обозначение  $h_{ij} = a_j / z_{ij}$ , предполагаем, что  $x_j \in S$  ( $j = 1, \dots, k < n$ ) и наблюдается выполнение условий

$$h_{ik+1} \geq h_{ik+2} \geq \dots \geq h_{il}, \quad 1 \leq n, \quad i = \overline{1, m}, \quad (9)$$

$$\sum_{j=k+1}^1 z_{ij} > b_i - \sum_{x_j \in S} z_{ij}, \quad (10)$$

$$\sum_{j=k+1}^{l-1} z_{ij} \leq b_i - \sum_{x_j \in S} z_{ij} x_j, \quad i = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Без того, чтобы нарушать неравенства (7), есть возможности для введения элементов  $X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_{l-1}$  в множество  $S$ . Это вытекает из условий (10) и (11). Неравенства (7) не будут выполняться, когда элементы  $X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_l$  будут введены в множество  $S$ .

Можно опираться на такое выражение, чтобы определять верхнюю границу в решении

$$H_S = \sum_{x_j \in S} a_j x_j + L_{sM}, \quad (12)$$

с учетом, что

$$L_{sM} = \min\{L_{s1}, L_{s2}, \dots, L_{sm}\}, \quad (13)$$

$$L_{si} = \sum_{j=k+1}^{l-1} a_j + h_{il} \Delta b_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (14)$$

$$\Delta b_i = b_i - \sum_{x_j \in S} z_{ij} x_j - \sum_{j=k+1}^{l-1} z_{ij}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (15)$$

С учетом ограничений

$$\sum_{x_j \in S} z_{ij} x_j \leq b_i - \sum_{x_j \in S} z_{ij} x_j = b_i, \quad i = \overline{1, m},$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad x_j \in G_S.$$

получается, что  $L$  будет не меньше, чем максимальное значение величины  $\sum_{x_j \in S} a_j x_j$ . Это вытекает из условий (9)-(11).

Проведение выбора по очередной переменной, чтобы включить в множество  $S$ , реализуется на базе условия  $h_r x_r = \max_{x_j \in G_S} h_{Mj}(x_j)$ , в ходе моделирования  $h_{Mj}(x_j) = a_j / z_{Mj}$ .

Происходит определение величин  $H_S(x_r)$  и  $\overline{H}_S(x_r)$  при выбранной переменной  $x_r$ . Тогда в  $S$  будет включено  $x_r = 1$  или  $x_r = 0$ .

Пусть при решении мы встретимся с тем, что внутри множества  $G_S$  нет элементов, которые мы можем ввести в множество  $S$  без того, чтобы нарушить ограничение (7). Тогда мы можем принять как первое приближенное решение  $L_0$  то решение, которое было получено  $L_S = \sum_{x_j \in S} a_j x_j$ .

Происходит исключение из последующего рассмотрения всех вершин дерева по возможным вариантам, по которым есть выполнение условий  $H_s \leq L_0$ .

Из оставшихся ветвей будет сделан выбор ветви с максимальным значением  $H_s$ . Процесс, связанный с поиском оптимального варианта будет продолжен. Полученное решение будет приниматься в качестве нового приближенного результата, когда в ходе решения будет определено  $L_S = \sum_{x_j \in S} a_j x_j > L_0$ .

Когда по всем оставшимся ветвям будет выполнено условие  $H_s \leq L_0$ , будет завершение вычислительной процедуры.

Проверяются условия (7) после того, как получено новое решение  $L_s$ . Достигнутое решение не будет приниматься как новый приближенный результат, если они не будут выполняться.

При построении алгоритма решения учитывается вид оптимизационной модели, позволяющий вести выбор по плану действий [9]. В алгоритме можно указать такие упрощения:

1. Происходит вычисление первого приближенного решения перед тем, как алгоритм начинает работать. Это дает возможности для существенного сокращения последующего поиска. Можно опираться на следующие подходы:

а) в решение будет включаться по одной вершине, которая характеризуется максимальным соотношением «ценность»/«стоимость» по каждому ограничению (4)-(5);

б) по ограничениям (5) по одной вершине, которая характеризуется максимальным соотношением «ценность»/«стоимость» будет включено в решение;

в) в решение будет включено по одной вершине, которая характеризуется минимальной «стоимостью» по каждому ограничению (5).

Если будет выполнено условие (2), то происходит выбор соответствующего метода.

2. Когда в множество  $S$  будет включена очередная переменная  $x_r=1$ , тогда будет проверка условий (3), (4). В случае обнаружения



переменных  $x_k$  ( $k = \overline{1, K}$ ), которые стоят в одном ограничении с  $x_r$ , тогда будет автоматическое включение переменных  $x_k = 0$  в множество  $S$ .

На рис. 1 дана иллюстрация схемы алгоритма, позволяющего решать оптимизационную задачу (1)-(5).

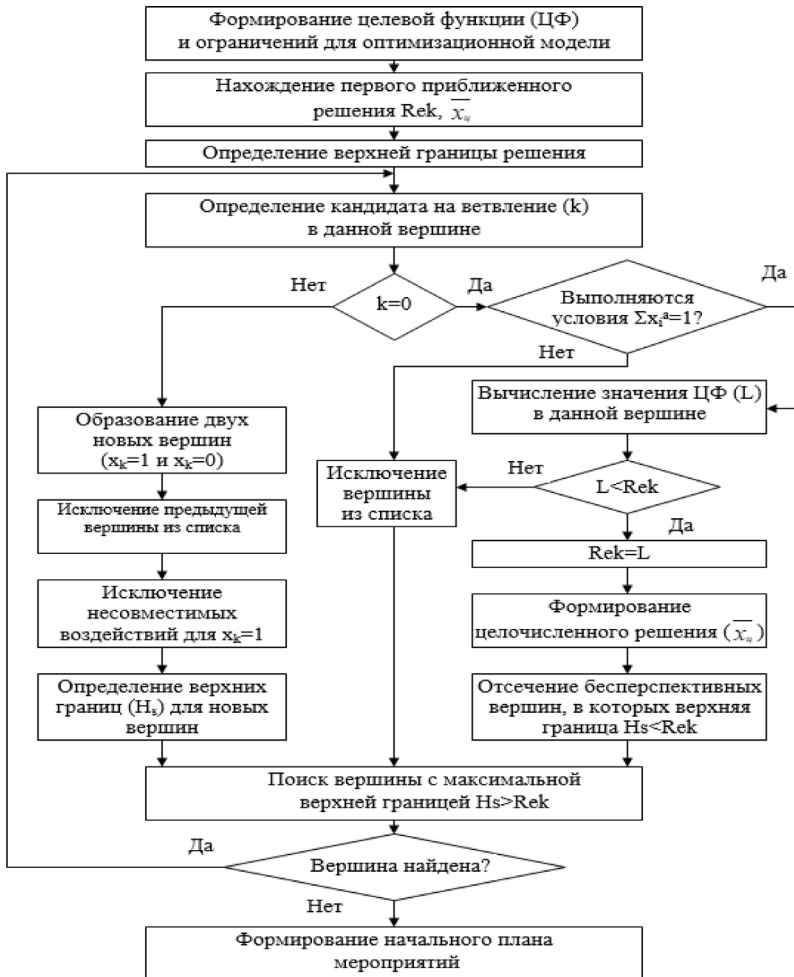


Рис. 1. Иллюстрация схемы алгоритма решения оптимизационной задачи, связанной с выбором начальных действий

Двухуровневые адаптивные алгоритмы могут быть применены в ходе настройки параметров, если при выбранной схеме допустимы изменения в характеристиках действий.

Специалистом происходит выделение ведущего параметра  $P_B$ , который будет характеризовать ключевой эффект в ремонте и происходит формулирование цели ремонта: необходима максимальная скорость в изменении показателя, или требуется обеспечение медленного изменения для каждого шага процесса ремонта.

С точки зрения формализованного вида это ведет к тому, что должны выполняться такие условия:

$$F_1 = (P_B - P_{BЖ})^2 = \min, \quad (16)$$

$$F_2 = (P_B^{K-1} - P_B^K)^2 = \min, \quad (17)$$

В ходе моделирования  $P_{BЖ}$  – то значение в показателе  $P_B$ , которое желает специалист;  $K$  – шаг ремонта.

Вероятности  $P_1$  и  $P_2$  настраиваются. Для каждого шага ремонта будет привлекаться критерий (16) или (17). Привлекаются двухуровневые адаптивные алгоритмы [10] на основе суждений специалиста относительно необходимости применения соответствующего критерия на каждом шагу ремонта. При реализации процессов ремонта расчет параметров в  $j$ -м воздействии происходит так [10].

1. Если применяется показатель (16):

$$D_j^K = D_j^{K-1} + a^K (P^K - P_{Ж}), \quad (18)$$

С учетом того, что

$$a^K = a^{K-1} e_K \frac{1}{\text{sign}[(P^K - P_{Ж})(P^{K-1} - P_{Ж})]}. \quad (19)$$

2. Если применяется показатель (17):

$$D_j^K = D_j^{K-1} + a^K (P^K - P^{K-1}), \quad (20)$$

с учетом того, что

$$a^K = a^{K-1} e_K \frac{1}{\text{sign}[(P^K - P^{K-1})(P^{K-1} - P^{K-2})]}. \quad (21)$$

Для первого шага величину  $a^K$  определяем на основе того, какой будет результат ремонта по при начальном воздействии  $D_j^0$ .

Выбор начального воздействия реализуется при помощи прогностических моделей, которые дают возможности для учета индивидуальных особенностей анализируемого объекта.

### Применение прогностических моделей

Для того, чтобы обучать нейросети в ходе формирования прогностических моделей мы предлагаем применять модифицированный алгоритм обратного распространения (рис. 2). Для него используется инерционное соотношение, позволяющем определять величину шага по каждой из итераций

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta g_j x_j + \alpha (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1)), \quad (22)$$

в указанном выражении  $\alpha$  является коэффициентом инерции,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Значительным образом может быть обеспечено сокращение скорости обучения за счет указанной модификации. Прогнозирование того, как изменяются параметры объектов, может считаться как одна из важных оценок. Их точность большей частью оказывает влияние на то, как оптимальным образом будут выбираться управляющие воздействия.

Исходное множество объектов [10] разбивается по однородным группам, чтобы повышать точность в прогнозировании. По каждой группе отдельным образом ведется построение прогностических моделей. Если нет возможностей для формирования однородных групп, происходит включение показателей, учитывающие неоднородность ремонтируемых объектов в обобщенную прогностическую модель как дополнительные зависимые переменные. Чтобы выбрать наиболее эффективную тактику при ремонте применяют значения по контролируемым показателям на конец наблюдения для прогностических моделей как зависимых переменных. Независимые переменные рассматриваются в виде значений показателей перед наблюдением.

Есть следующие этапы в алгоритме формирования прогностических моделей.

1. Происходит определение набора показателей  $X_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) с использованием опроса экспертов. Тогда можно полным образом дать идентификацию объекта, а также учесть их неоднородности.

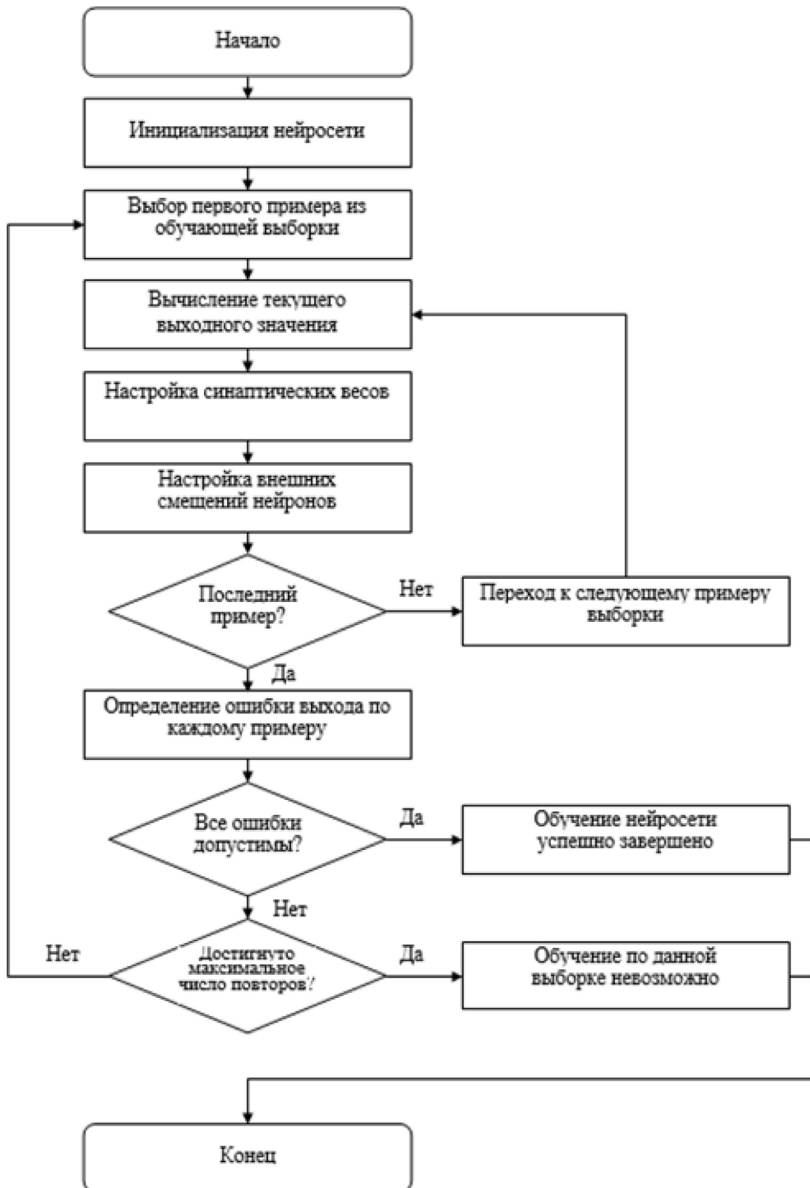


Рис. 2. Алгоритм обучения нейронной сети

2. По контролируемым показателям  $Y_j$  ( $j = \overline{1, M}$ ) происходит выделение одного или нескольких. Их изменение важно с точки зрения оценок состояния ремонтируемого объекта позволяет говорить о том, насколько эффективны управляющие воздействия.

3. Фильтрация информации проводится с тем, чтобы отобрать достоверные измерения.

4. Вследствие исключения параметрической избыточности проводится выбор по оптимальному признаковому пространству.

5. Выбирается структура модели.

6. Реализуется процесс построения модели.

7. Модель проверяется с точки зрения адекватности. Алгоритм оканчивается, если модель будет адекватной. В случае неадекватности модели, но есть возможности для ее усложнения – будет переход к п.5, в противном случае требуется проведение корректировки в исходной выборке.

## **Выводы**

В работе получены результаты, которые имеют значение для повышения эффективности управления современными транспортными системами. На основе разработанного алгоритма существует возможность оптимизации осуществляемых действий. Показан алгоритм, позволяющий осуществлять процессы прогнозирования.

## ***Список литературы***

1. Львович К.И. Управление эффективностью деятельности персонала в условиях цифровой трансформации организационных систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8. № 3 (30). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.30.3.039>
2. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Анализ некоторых проблем оптимального управления в сложных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 2 (41). С. 93-95.

3. Preobrazhenskiy Yu.P., Chuprinskaya Yu.L., Ruzhicky E. The problems of process control in computer systems // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 92-94.
4. Чупринская Ю.Л., Линкина А.В. Краткий обзор современных технологических трендов в контексте цифровой трансформации // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 107-109.
5. Миркина О.Н. Состояние транспортной отрасли России и основные тенденции её развития // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 1. С. 104-122.
6. Семенова Е.В. Основы безопасности формирования железнодорожных составов // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 2 (41). С. 13-16.
7. Воронов А.А., Блинов Р.А., Смирнов А.О., Иванов П.Т., Александров А.А. Применение методов системного анализа для повышения эффективности работы транспортных предприятий // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 114-117.
8. Рихтер Т.В., Белоус А.В. Автоматизация процесса учета оборудования на предприятии // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 2. С. 69-85.
9. Зотова В.А., Тихонова Н.А., Феофанова Т.Д. Техническое состояние транспортных средств и его изменение в процессе эксплуатации // International Journal of Advanced Studies. 2021. Т. 11. № 3. С. 76-82.
10. Прохорова О.К., Куршин И.А., Прохорова А.Е. Методические подходы к оценке конкурентных преимуществ организации // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 2 (41). С. 146-150.

### *References*

1. L'vovich K.I. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii*, 2020, vol. 8, no. 3 (30). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.30.3.039>

2. L'vovich YA.E., Preobrazhenskij A.P., Preobrazhenskij YU.P. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 2 (41), pp. 93-95.
3. Preobrazhenskij Yu.P., Chuprinskaya Yu.L., Ruzhicky E. The problems of process control in computer systems. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 1 (40), pp. 92-94.
4. CHuprinskaya YU.L., Linkina A.V. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 1 (40), pp. 107-109.
5. Mirkina O.N. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 104-122.
6. Semenova E.V. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 2 (41), pp. 13-16.
7. Voronov A.A., Blinov R.A., Smirnov A.O., Ivanov P.T., Aleksandrov A.A. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 1 (40), pp. 114-117.
8. Rihter T.V., Belous A.V. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 2, pp. 69-85.
9. Zotova V.A., Tihonova N.A., Feofanova T.D. *International Journal of Advanced Studies*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 76-82.
10. Prohorova O.K., Kurshin I.A., Prohorova A.E. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 2 (41), pp. 146-150.

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Львович Яков Евсеевич**, профессор, доктор технических наук,  
профессор

*Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования Воронежский государственный  
технический университет*

*ул. 20 лет Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Российская Фе-  
дерация*

*Komkovvivi@yandex.ru*

**Преображенский Андрей Петрович**, профессор, доктор техни-  
ческих наук, доцент

*Автономная некоммерческая образовательная организация  
высшего образования Воронежский институт высоких тех-  
нологий  
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация*

**Аветисян Татьяна Владимировна**, старший преподаватель  
*Автономная некоммерческая образовательная организация  
высшего образования Воронежский институт высоких тех-  
нологий  
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Yakov Ye. Lvovich**, Professor, doctor of technical Sciences, Professor  
*Voronezh State Technical University  
84, 20 years of October Str., Voronezh, 394006, Russian Fede-  
ration  
Komkovvvt@yandex.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7051-3763>*

**Andrey P. Preobrazhenskiy**, professor, doctor of technical sciences,  
associate professor  
*Voronezh Institute of High Technologies  
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>*

**Tatiana V. Avetisyan**, Senior Lecturer  
*Voronezh Institute of High Technologies  
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3559-6070>*

Поступила 15.09.2022  
После рецензирования 20.09.2022  
Принята 28.09.2022

Received 15.09.2022  
Revised 20.09.2022  
Accepted 28.09.2022