УДК 69.003
DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.006

Модели управления ресурсами в сфере строительства

С.А Баркалов, С.И. Моисеев, Е.А. Серебрякова✉

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация

Резюме. В работе приведены три математические модели, позволяющие осуществлять ресурсное управление строительными работами. Модель эффективного снабжения строительных объектов ресурсами позволяет оптимизировать распределение ресурса на объекты с учетом логистики. Она позволяет организовать оптимальное снабжение строительных объектов или проектов ресурсами разного типа с целью, с одной стороны, удовлетворить в максимальной мере потребности потребителей, а с другой, минимизировать затраты на организацию мероприятий по снабжению. Модель оптимального распределения дефицитных ресурсов между объектами позволяет распределять ограниченные ресурсы с минимизацией срыва строительных работ. Показано, что эффективность применения представленной модели распределения дефицитных ресурсов в среднем составляет около 34 %. Модели своевременного пополнения запасов ресурса позволит осуществлять вероятностное прогнозирование наличие ресурса по времени. Данная модель позволит вероятностными методами прогнозировать объем запасов необходимых ресурсов на некотором строительном объекте в условиях нестабильной динамики их использования. При разработке моделей использовались методы математического программирования и марковских случайных процессов. Данные модели позволят осуществлять оперативное управление запасами строительных объектов в условиях нестабильного их снабжения и расходования, а также планировать действия по мероприятиям, позволяющим увеличить объем поставляемых запасов на объекты в зависимости от скорости их расходования с учетом влияния внешних условий и внутренних факторов.

Ключевые слова: ресурсное управление, строительство, математическое моделирование, оптимизация, управление запасами.

Для цитирования: Баркалов С.А, Моисеев С.И., Серебрякова Е.А. Модели управления ресурсами в сфере строительства. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023;11(4). URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1449 DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.006

Models of resource management in the construction sector

S.A Barkalov, S.I. Moiseev, E.A. Serebryakova✉

Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation

Abstract. The paper presents three mathematical models that facilitate resource management of construction works. The model of the efficient support of construction sites makes it possible to optimize the distribution of resources to sites with logistics accounted for. It helps to organize the optimal supply of construction sites or projects with resources of various types both to fully satisfy the needs of consumers and to minimize the costs of organizing supply activities. The model for the optimal distribution of scarce resources between objects enables the distribution of limited resources while minimizing the disruption of construction work. It is shown that the efficiency of the presented model for distributing scarce resources is about 34 % on average. Models for timely replenishment of resource reserves will allow for probabilistic forecasting of resource availability over time. This model facilitates probabilistic methods to predict the volume of necessary resource reserves at a particular construction site under the conditions of unstable dynamics of their use. When developing the models, methods of mathematical programming and Markov random processes were employed. These models will make it possible to carry out operational management of construction project inventories under the conditions of unstable supply and consumption, as well as to plan measures to increase the volume of supplied stocks to objects depending on the speed of their consumption with the influence of external conditions and internal factors accounted for.

Keywords: resource management, construction, mathematical modeling, optimization, inventory management.

For citation: Barkalov S.A., Moiseev S.I., Serebryakova E.A. Models of resource management in the construction sector. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(4). URL: https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=1449 DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.006 (In Russ.).

Введение

При управлении ходом реализации строительных проектов особая роль отводится эффективному ресурсному обеспечению строительства. Своевременное снабжение строительного объекта необходимым ресурсом, оптимальное распределение имеющихся ресурсов между объектами и работами, эффективное управление запасами – все это является необходимыми условиями завершения строительных работ в срок, с минимальными затратами и соблюдением требований по качеству.

В связи с этим, любые исследования, связанные с оптимизацией системы ресурсного обеспечения при строительстве, являются актуальными и востребованными в современных условиях.

Целью описанного в данной работе научного исследования является разработка оптимальной системы ресурсного обеспечения строительных проектов и работ на основе методов математического моделирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Предложить математическую модель оптимального снабжения строительных проектов или работ произвольным ресурсом с учетом логистических возможностей для его доставки на объекты строительства.

2. Разработать математическую модель распределения ограниченных ресурсов между объектами строительства либо отдельными работами в рамках одного строительного объекта.

3. Разработать модель управления запасами ресурса, позволяющую в динамике оценивать наличие ресурсов для выполнения строительных проектов.

Далее приведем подробное описание указанных моделей, методами имитационного моделирования с использованием вычислительных экспериментов проведем апробацию моделей и обоснуем адекватность полученных по ним результатов.

Модель эффективного снабжения ресурсами строительных объектов

В данном разделе предлагается к рассмотрению математическая модель, которая позволяет организовать оптимальное снабжение строительных объектов или проектов ресурсами разного типа с целью, с одной стороны, удовлетворить в максимальной мере потребности потребителей, а с другой, минимизировать затраты на организацию мероприятий по снабжению [1].

Рассмотрим произвольного поставщика ресурса (который, как правило, ограничен), поставляющего его на несколько строительных объектов либо работ. При этом необходимо учитывать логистику доставки ресурса, возможности которой ограничены. Общая постановка задачи отображена на Рисунке 1.

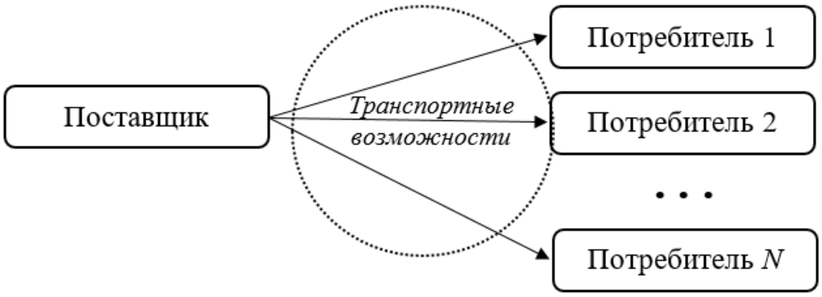

Рисунок 1 – Структура задачи распределения ресурсов с учетом логистики
Figure 1 – Structure of the resource allocation problem with logistics accounted for

Приведем математическую модель задачи, используя методы математического программирования [2].

Обозначим через C общий объем имеющегося ресурса, который необходимо доставить на N строительных объектов (работ).

Также обозначим через b_i объем ресурса, необходимый i-ому потребителю за некоторый период времени, i=1, 2, …, N. При возможном дефиците ресурса спрос потребителей может быть удовлетворен не полностью. Введем некоторый параметр, характеризующий, во сколько раз может быть снижен объем поставляемого ресурса, чтобы это не привело к критическим последствиям для потребителя – коэффициент минимальной обеспеченности K.

Необходимо рассчитать оптимальные объемы ресурса, доставляемые на каждый строительный объект. Задаем переменные: x_i – объем ресурса, доставляемого на i-ый объект строительства, i=1, 2, …, N.

Учитывая логистику доставки ресурсов, также определим следующие параметры: d_i – среднее время, необходимое для перевозки единицы ресурса на i-ый объект строительства, i=1, 2, …, N; M – максимальное количество рейсов, которые может обеспечить поставщик для доставки ресурса на все объекты; A – средняя грузоподъемность одного транспортного средства в системе логистики для поставщика. Если такая система располагает различными транспортными средствами r типов с грузоподъемностью A_1, A_2, … A_r в количестве n_1, n_2, … n_r, то для параметра A можно использовать формулу: $A = \frac{\sum_{i=1}^{r} n_i A_i}{\sum_{i=1}^{r} n_i}$. Также введем параметр W_i – вес (важность) участия i-ого объекта строительства в системе логистики, i=1, 2, …, N.

Суммарный объем перевозимых ресурсов регулируется ограничением: $\sum_{i=1}^{N} x_i \le C$, а логистические – соотношением: $\left\lceil \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N} x_i \right\rceil \le M$, где оператор $\lceil ... \rceil$ означает округление до большего целого. Объем перевезенного ресурса на каждый объект, с учетом корректирующего коэффициента K регулируется ограничением: $x_i \ge K \cdot b_i$, $i = 1, 2, ..., N$.

Критерием оптимальности будет служить отношение перевезенного объема ресурса к требуемому, но с учетом весов объекта строительства. Целевую функцию при этом можно построить двумя методами – аддитивным: $\sum_{i=1}^{N} W_i \frac{x_i}{b_i} \to \max,$ и мультипликативным: $\prod_{i=1}^{N} \left(\frac{x_i}{b_i}\right)^{W_i} \to \max.$

В итоге, для решения задачи получаем задачи математического программирования, которые приведены ниже.

Аддитивная модель

$$\sum_{i=1}^{N} W_i \frac{x_i}{b_i} \to \max;$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{N} x_i \le C; \\ \left\lceil \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N} x_i \right\rceil \le M; \\ x_i \ge K \cdot b_i, \;\; i = 1, 2, ..., N. \end{cases} \qquad (1)$$

Мультипликативная модель

$$\prod_{i=1}^{N} \left(\frac{x_i}{b_i}\right)^{W_i} \to \max.;$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{N} x_i \le C; \\ \left\lceil \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N} x_i \right\rceil \le M; \\ x_i \ge K \cdot b_i, \;\; i = 1, 2, ..., N. \end{cases} \qquad (2)$$

Решая оптимизационные задачи (1) и (2) можно оценить качество организации поставок ресурса для всех объектов, вводя показатель эффективности: $E = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{N} d_i x_i$, а также коэффициент обеспеченности: $K_{об} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{b_i},$ характеризующий степень удовлетворения объектов в ресурсе.

Были проведены вычислительные эксперименты, основанные на имитационном моделировании, которые показали, что более устойчивой к условиям задачи является мультипликативная модель, хотя полученные оптимальные решения по моделям различаются не более, чем на 3 %.

Описанная выше задача предполагала, что имеющихся запасов достаточно для бессбойного обеспечения строительных объектов. В случае существенного дефицита ресурсов, приведенная математическая модель может не давать сходящийся результат. Ввиду этого далее приведем математическую модель, позволяющую оптимизировать распределения ресурсов между строительными объектами в условиях дефицита ресурсов.

Модель оптимального распределения набора дефицитных ресурсов

В данном разделе рассмотрим математическую модель, основанную на методах векторной оптимизации, позволяющую оптимально распределять ограниченные по запасам ресурсы разного вида между строительными мероприятиями, работами или объектами с целью повышения эффективности выполнения строительных проектов [3].

Рассмотрим ситуацию, когда при строительстве используется n видов ресурсов, запасы которых недостаточны для эффективного выполнения m строительных работ. Сделаем следующие обозначения: a_{ij} , i=1, 2, …, n; j=1, 2, …, m – оптимальный объем ресурсов i-ого вида, требуемого на j-ую работу; b_{ij} – достаточный объем тех же ресурсов для тех же работ, при котором строительные мероприятия будут реализованы (хот и не столь эффективно) и не произойдет срыв реализации строительных работ; W_j, – вес или важность j-ой работы, с точки зрения выполнения всего строительного проекта. Z_i – общий объем имеющихся ресурсов i-ого типа.

Нужно рассчитать показатель x_{ij}, имеющий смысл объема ресурсов i-ого вида, который оптимально распределить на j-тую работу, чтобы минимизировать риски, связанные со срывом выполнения строительного проекта.

Введем частный критерий эффективности работы относительно каждого вида ресурса δ_{ij}, который имеет смысл увеличения угрозы срыва работы из-за недостатка ресурса и который будет обратно пропорциональным разности между оптимальным объемом ресурса и минимально необходимым для выполнения работы: $\delta_{ij} = \dfrac{1}{a_{ij} - b_{ij}},\ i = 1,2,...,n,\ j = 1,2,...,m.$

В качестве целевой функции F_i определим суммарный дефицит каждого ресурса для каждой работы с учетом критерия эффективности, а также важности работы: $F_k(x_{ij}) = \sum_{j=1}^{m} \delta_{ij}\left(a_{ij} - x_{ij}\right) W_j \to \min,\ k = 1,2,...,n,$ которую после преобразований можно представить в виде:

$$F_k(x_{ij}) = \sum_{j=1}^{m} \frac{W_j x_{ij}}{a_{ij} - b_{ij}} \to \max,\ k = 1,2,...,n\ .$$

Формируя ограничения, можно сказать, что выделяемые ресурсы должны находится между необходимыми и достаточными:

$$x_{ij} \le a_{ij},\ x_{ij} \ge b_{ij},\ i = 1,2,...,n,\ j = 1,2,...,m,$$

и суммарно не превышать весь имеющийся запас: $\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \le Z_i,\ i = 1,2,...,n$.

С учетом этого получаем задачу векторной оптимизации:

$$F_k(x_{ij}) = \sum_{j=1}^{m} \frac{W_j x_{ij}}{a_{ij} - b_{ij}} \to \max,\ k = 1,2,...,n;$$
$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{m} x_{ij} \le Z_i,\ b_{ij} \le x_{ij} \le a_{ij}, \\ i = 1,2,...,n,\ j = 1,2,...,m. \end{cases} \tag{3}$$

Для решения задачи многокритериальной оптимизации (3) применим метод обобщенной целевой функции [4], получим задачу математического программирования:

$$F(x_{ij}) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \frac{W_j x_{ij}}{a_{ij} - b_{ij}} \to \max;$$
$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{m} x_{ij} \le Z_i,\ b_{ij} \le x_{ij} \le a_{ij}, \\ i = 1,2,...,n,\ j = 1,2,...,m. \end{cases} \tag{4}$$

В случае, если некоторый ресурс не является дефицитным, но на работу распределяется необходимое его количество, а остаток переводится в резерв, объем которого можно определить по формуле: $r_i = \sum_{j=1}^{m} x_{ij} - Z_i,\ i = 1,2,...,m$.

Данная модель также была проверена на адекватность и устойчивость с помощью вычислительных экспериментов. Имитационными методами генерировались различные условия для оптимизации распределения группы ресурсов между строительными работами и анализировались полученные решения. В результате была обоснована адекватность полученных решений, достаточная устойчивость решений к изменению исходных данных, отсутствие каких-либо ограничений по типу данных и быстрая сходимость численного решения. Кроме того, сравнивалось распределение ресурсов по предложенной модели со случайным распределением в одних и тех же условиях. В результате было показано, что эффективность применения представленной модели распределения дефицитных ресурсов в среднем составляет около 34 %.

Модель управления запасами имеющегося ресурса

В данном разделе будет представлена математическая модель, которая позволит вероятностными методами прогнозировать объем запасов необходимых ресурсов на некотором строительном объекте в условиях нестабильной динамики их использования [5].

В реальности процесс строительства обычно зависит от большого числа внешних факторов и внутренних условий, он достаточно непредсказуем [6], то есть является в своей динамике случайным процессом. Для моделирования объемов запасов ресурса рационально использовать методы теории марковских случайных процессов [7-9]. Согласно ей, необходимо ввести некоторые состояния процесса изменения запасов ресурса, соответствующие определенным уровням наличия ресурса для проведения строительных работ.

Таким образом, представленная в работе модель оценки объема запасов для строительных объектов будет основана на теории марковских случайных процессов с непрерывным временем. Переходы между состояниями будут осуществляться на основании некоторого потока событий Пуассона с интенсивностью Λ, которая связана со средним временем T пребывания случайным процессом в предыдущем состоянии перед переходом в последующее соотношением: $\Lambda=1/T$ [7].

Возьмем некоторый объект строительства или работу, на которых необходимо иметь определенный запас ресурса. Периодически происходит пополнение ресурса, а его расход является неравномерным.

Рассмотрим случайный процесс расхода – пополнения ресурса, содержащий состояния S_i, имеющие смысл того, что объем запаса ресурса для объекта (работы) достаточно на i единиц времени, но недостаточно на i+1 единицу времени, i=0, 1, 2, …, M, где M – количество периодов времени, на которое осуществляется прогнозирование объема запаса

В результате получим марковский процесс гибели и размножения [8], который будет описываться двумя параметрами: λ имеет смысл среднего объема ресурса, на который нужно пополнить его запас, чтобы его хватило на единицу времени, больше текущего; параметр μ равен среднему количеству ресурса, который расходуется при строительстве за единицу времени.

В результате получаем граф состояний случайного процесса, который изображен на Рисунке 2.

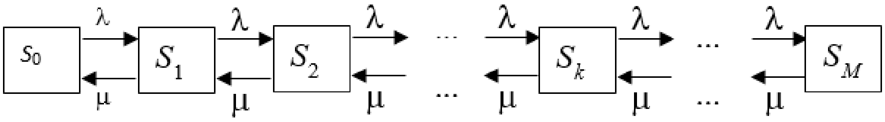

Рисунок 2 – Граф состояний случайного процесса
Figure 2 – Random process state graph

Требуется определить вероятности состояний $P_i(t),\ i = 0, 1, ..., M$, равные вероятностям нахождения случайного процесса в каждом состоянии S_i в произвольный момент времени *t*. Это можно сделать, решив систему дифференциальных уравнений Колмогорова [7, 8]:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0(t)}{dt} = \mu P_1(t) - \lambda P_0(t); \\ \dfrac{dP_i(t)}{dt} = \lambda P_{i-1}(t) + \mu P_{i+1}(t) - (\lambda + \mu) P_i(t),\ i = 1, 2, ..., M-1; \\ \sum\limits_{i=0}^{M} P_i(t) = 1. \end{cases} \tag{5}$$

Если в начальный момент времени случайный процесс находился в состоянии S_k, то система (5) дополняется начальными условиями

$$P_k(0) = 1;\ P_i(0) = 0;\ i = 0, 1, ..., M,\ i \neq k. \tag{6}$$

В случае длительного времени проведения строительных работ случайный процесс переходит в стационарный режим и вероятности состояний будут независимы от времени: $P_i = \lim\limits_{t\to\infty} P_i(t);\ i = 0, 1, ..., 7$. В таком случае система (5), (6) сведется к системе алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \mu P_1 = \lambda P_0; \\ \lambda P_{i-1} + \mu P_{i+1} = (\lambda + \mu) P_i,\ i = 1, 2, ..., M-1; \\ \sum\limits_{i=0}^{M} P_i = 1. \end{cases} \tag{7}$$

Из решения (7) и вводя приведенную интенсивность $\rho = \lambda/\mu$, находим вероятности состояний:

$$P_0 = 1 \Big/ \sum_{m=0}^{M} \rho^m;\quad P_n = \frac{\rho^n}{\sum\limits_{m=0}^{M} \rho^m} = \rho^n P_0,\quad n = 1, 2, ..., M. \tag{8}$$

Проанализируем результаты. Возьмем для определенности за единицу времени одни сутки. На Рисунках 3 и 4 приведены графики вероятностей того, что запаса ресурса будет достаточно на период от 1 до 7 суток в зависимости от приведенной вероятности $\rho = \lambda/\mu$.

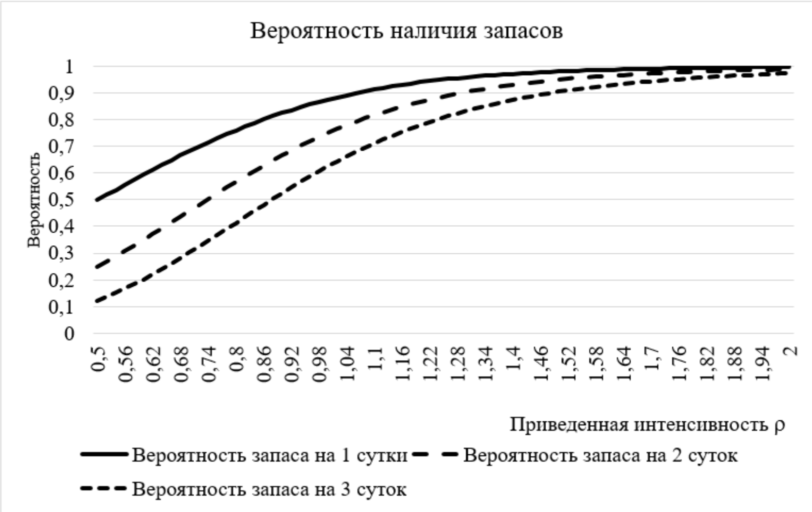

Рисунок 3 – Вероятности достаточности ресурса на период от 1 до 3 суток в зависимости от ρ
Figure 3 – Probabilities of resource sufficiency for a period from 1 to 3 days depending on ρ

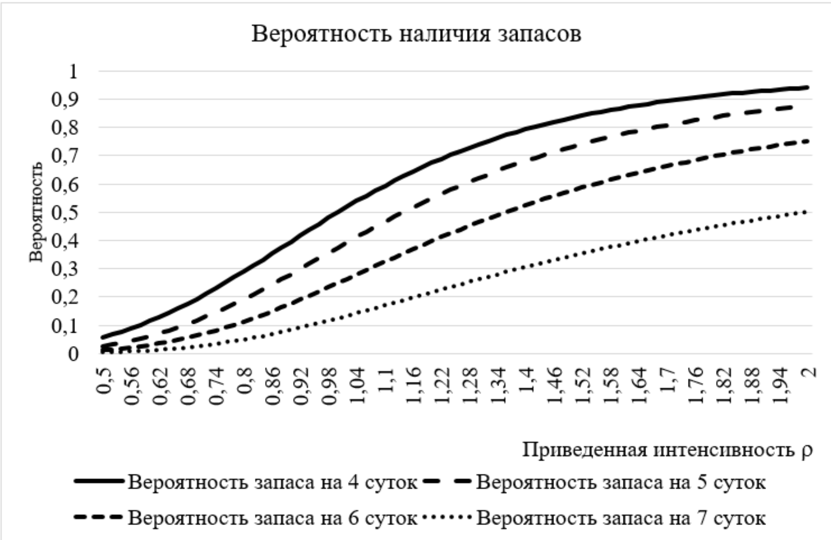

Рисунок 4 – Вероятности достаточности ресурса на период от 4 до 7 суток в зависимости от ρ
Figure 4 – Probabilities of resource sufficiency for a period from 4 to 7 days depending on ρ

Данная модель позволит осуществлять оперативное управление запасами строительных объектов в условиях нестабильного их снабжения и расходования, а также планировать действия по мероприятиям, позволяющим увеличить объем поставляемых запасов на объекты в зависимости от скорости их расходования с учетом влияния внешних условий и внутренних факторов.

Заключение

Таким образом, в данной работе получены следующие результаты:

1. Предложена математическая модель эффективного снабжения строительных объектов или работ некоторым видом ресурса. Модель учитывает ограниченность ресурса, транспортные возможности и иные факторы. Реализация модели позволит составлять оптимальные планы поставки сырья, товаров, грузов, материальных и человеческих ресурсов, оптимизировать транспортные затраты, осуществлять

эффективное управление запасами. В основе разработанной модели лежат методы линейной и нелинейной оптимизации.

2. Разработана и обоснована математическая модель распределения ограниченных ресурсов между строительными объектами, работами или мероприятиями. На основе вычислительных экспериментов была оценена эффективность применения модели распределения ресурсов при управлении строительными проектами, которая в среднем составила более 34 %.

3. Описана основанная на марковских случайных процессах математическая модель, позволяющая в вероятностном подходе оценить наличие необходимых ресурсов на строительных объектах в ближайшие периоды времени.

Данные модели позволят осуществлять оперативное управление запасами строительных объектов в условиях нестабильного их снабжения и расходования, а также планировать действия по мероприятиям, позволяющим увеличить объем поставляемых запасов на объекты в зависимости от скорости их расходования с учетом влияния внешних условий и внутренних факторов [10].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Серебрякова Е.А. Оптимизация распределения и транспортировки ресурсов в сфере сельского хозяйства. *Системы управления и информационные технологии*. 2022;90(4):26–30.
2. Корнеенко В.П. *Методы оптимизации*. М.: Высшая школа; 2007. 664 с.
3. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Серебрякова Е.А. Математическая модель оптимального распределения ресурсов в строительной сфере в условиях их дефицита. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2023;23(1):89–99.
4. Соколов А.В. *Методы оптимальных решений. В 2 т. Т. 1. Общие положения. Математическое программирование*. М.: Физматлит; 2012. 564 с.
5. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Серебрякова Е.А. Модель управления запасами в строительной сфере, основанная на марковских случайных процессах. *Инженерный вестник Дона*. 2023;98(2):211–223.
6. Waller M.A., Esper T.L. *The definitive guide to inventory management: principles and strategies for the efficient flow of inventory across the supply chain*. Pearson Education; 2014. 150 p.
7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. *Теория случайных процессов и ее инженерные приложения*. М.: Высшая школа; 1998. 354 с.
8. Маталыцкий М.А. *Элементы теории случайных процессов*: учебное пособие. Гродно: ГрГУ; 2004. 326 с.
9. Миллер Б.М., Панков А.Р. *Теория случайных процессов в примерах и задачах*. М.: Физматлит; 2002. 320 с.
10. Баркалов С.А., Глушков А.Ю., Моисеев С.И. Динамическая модель разработки и реализации проекта под влиянием внешних факторов. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*; 2020:20(3):76–84. DOI: 10.14529/ctcr200308.

REFERENCES

1. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Serebryakova E.A. Optimization of distribution and transportation of resources in agriculture. *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii = Management systems and information technologies*. 2022;90(4):26–30. (In Russ.).

2. Korneenko V.P. *Optimization methods*. Moscow, Vysshaya shkola; 2007. 664 p. (In Russ.).
3. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Serebryakova E.A. Mathematical model of optimal allocation of resources in the construction industry in conditions of their shortage. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika = Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics*. 2023;23(1):89–99. (In Russ.).
4. Sokolov A.V. *Methods of optimal solutions. In 2 volumes. V. 1. General provisions. Mathematical programming.* Moscow, Fizmatlit; 2012. 564 p. (In Russ.).
5. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Serebryakova E.A. A model of inventory management in the construction industry based on Markov random processes. *Inzhenernyy vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*. 2023;98(2):211–223. (In Russ.).
6. Waller M.A., Esper T.L. *The definitive guide to inventory management: principles and strategies for the efficient flow of inventory across the supply chain*. Pearson Education; 2014. 150 p.
7. Ventzel E.S., Ovcharov L.A. *Theory of random processes and its engineering applications*. Moscow, Vysshaya shkola; 1998. 354 p. (In Russ.).
8. Matalytsky M.A. *Elements of the theory of random processes*: *textbook. allowance.* Grodno, Grodno State University; 2004. 326 p. (In Russ.).
9. Miller B.M., Pankov A.R. *Theory of random processes in examples and problems*. Moscow, Fizmatlit; 2002. 320 p. (In Russ.).
10. Barkalov S.A., Glushkov A.Yu., Moiseev S.I. Dynamic model of project development and implementation under the influence of external factors. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika = Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics*; 2020:20(3):76–84. DOI: 10.14529/ctcr200308. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Баркалов Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: barkalov@vgasu.vrn.ru

Sergey A. Barkalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation.

Моисеев Сергей Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: mail@moiseevs.ru
ORCID: 0000-0002-6136-9763

Sergey I. Moiseev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation.

Серебрякова Елена Анатольевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: sea-parish@mail.ru
ORCID: 0000-0001-5129-246X

Elena A. Serebryakova, Candidate of Economics, Associate Professor, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 28.09.2023; одобрена после рецензирования 10.10.2023; принята к публикации 20.10.2023.

The article was submitted 28.09.2023; approved after reviewing 10.10.2023; accepted for publication 20.10.2023.