

Моделирование места расположения склада

О.Н. Яркова

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: Работа направлена на разработку и апробацию алгоритма выбора места расположения нового склада хранения груза с учетом стохастических потоков поставок груза на склад и потребителям со склада. При выборе места размещения склада учитываются издержки, которые сопровождают деятельность логистической компании, связанные с организацией складского хозяйства в выбранном месте, с содержанием склада, хранением груза, доставкой груза от поставщиков до склада и от склада до потребителей. В работе предложен алгоритм решения задачи выбора места расположения склада хранения груза с учетом прогноза динамики поставок груза на склад и потребителям со склада. Описан математический инструментарий, позволяющий оценить динамику затрат на организацию и функционирование склада в условиях нестационарных потоков поступления и оттока груза со склада на основе применения метода статистического моделирования. Проведена апробация. Предложенный инструментарий обладает новизной в разрезе учета нестационарных потоков поступления и оттока груза на склад и реальных маршрутов движения транспорта при выборе места расположения склада.

Ключевые слова: место расположения склада, динамика складских затрат, статистическое моделирование, математическая модель, логистика

Введение

Разработка проекта логистической системы является сложной задачей. Некорректные управленческие решения в этой сфере могут существенно повлиять на финансово-экономические показатели компании, клиенто-ориентированность, и как следствие, может сказаться на конкурентоспособности и платежеспособности компании. Решения, принимаемые по вопросам выбора объема складских помещений, выбора места расположения склада, встраивания склада в цепочку поставок должны быть адаптированы к нуждам конкретной компании и грамотно обоснованы. При решении задач проектирования логистической сети должны учитываться множество различных факторов, в том числе, случайных, изменяющихся во времени, а поддержка принятия решений должна основываться на применении инструментария математического моделирования и информационных технологий.

Задача определения оптимального места размещения склада в логистической цепочке состоит в определении одного или нескольких мест в качестве центров хранения складированного груза для обслуживания географически распределенных потребителей. От выбора места размещения склада зависят издержки, которые сопровождают деятельность логистической компании, связанные с организацией складского хозяйства в выбранном месте, с содержанием склада, хранением груза, доставкой груза от поставщиков до склада и от склада до потребителей. К наиболее известным методам решения задачи определения оптимального места размещения склада, рекомендуемым в классических источниках по логистике, относятся метод центра тяжести [1, 2], пробной точки, р-медианный метод [3], учитывающие размещение потребителей груза и объемы грузовых потоков. К другим методам, имеющим математическое обоснование, следует отнести способы выбора оптимального размещения объектов на основе оптимизационных моделей и методов линейного, нелинейного, сепарабельного программирования, ветвей и границ [4, 5]. Такие методы учитывают, как правило, только расстояние между объектами и стоимость перевозки. В работе [6] авторы исследуют вопросы размещения логистического центра в условиях случайного спроса и возможности масштабирования склада эвристическими методами, путем минимизации затрат на транспортировку и хранение груза. Авторы работы [7] сделали акцент на удовлетворенность клиентов доступностью продукта, сроками доставки и рассматривали комбинации методов в этом контексте. Авторы показали, что р-медианный метод и метод Вебера, применяемые для определения места расположения склада, не позволяют найти оптимальное решение с позиции решения задачи логистики «последней мили» и рекомендуют использовать методы, основанные на сетевых моделях принятия решений. В настоящее время в среде научных публикаций для

решения задач определения места размещения объекта с учетом множества различных факторов используется метод k-средних, метод взвешенных k-средних [8] для поиска центра притяжения объектов. Однако, для описанных методов характерно использование одной из метрик расстояния, например, евклидовой, что, на наш взгляд не отвечает реалиям городской застройки и дорожно-транспортной сети города, не обеспечивающей кратчайшего расстояния между двумя точками пространства, тем более с учетом запретов на движение большегрузного транспорта, участков одностороннего движения и других подобных ограничений. Метод, учитывающий реальные маршруты движения транспорта между участниками логистической цепи, основанный на методе центра тяжести, описан в работе Константинова Р.В. [9]. Вопросам моделирования складской инфраструктуры с учетом вероятностного спроса на основе моделей стохастического программирования уделяется внимание в работе Попова П.В. [10]. Вопросам оценки чувствительности результатов работы алгоритма определения оптимального места размещения склада к изменению спроса на ассортимент посвящена работа Szczepański E. [11]. Авторы применили метод сценариев и продемонстрировали, что выбор закона распределения спроса на ассортимент склада существенно влияет на рекомендуемое место размещения склада, полученное в результате применения исследуемого имитационного алгоритма [12]. При этом авторы осуществляли выбор закона распределения спроса из семейства стандартных законов распределения (нормальное, экспоненциальное и др.), в то же время на практике закон распределения спроса может отличаться от стандартных, и в целом может быть представлен не стационарным временным рядом. Авторы работы [13] отразили актуальность применения методов имитационного моделирования и технологий автоматизации процесса поддержки принятия решений в данной сфере при решении задач планирования логистической сети.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: разработка и апробация алгоритма выбора места расположения склада хранения груза с учетом стохастических потоков поступления груза на склад и потребителям со склада, реальных маршрутов движения транспорта.

Задачи исследования:

- разработка математической модели и инструментария для оценки динамики затрат на организацию и функционирование склада в условиях нестационарных потоков поступления на склад и оттока груза со склада;
- разработка алгоритма принятия решений для выбора места расположения нового склада хранения груза;
- апробация модели и алгоритма.

Методы и модели

Для выбора места расположения склада предлагается следующий алгоритм:

1. Выбор конечного числа n возможных мест расположения склада (может быть реализован, например, методом центра тяжести, с последующим выбором ближайших мест, эвристическим методом, с последующим отсечением неудачных вариантов, и другими способами, вплоть до полного перебора доступных для организации складского хозяйства мест, при ограниченном их количестве).
2. Сбор статистических (прогнозных) данных о потоках поступления и оттока грузов с планируемого склада. На этом этапе необходимо оценить, какие потоки будут перенаправлены на вновь организуемый склад от каждого поставщика и для каждого потребителя, оценить динамику объема поставок.

Обозначим потоки поступающего груза: η_t^+ , $i=1,..k$, $t=1,..T$, где k – количество поставщиков, t – временной период, дискретная величина. Потоки оттока груза со склада: η_t^- , $i=1,..p$, $t=1,..T$, где p – количество потребителей груза. Размерность параметров η_t^- , η_t^+ , в зависимости от вида груза может измеряться в кубических метрах, тоннах, штуках и т.п., что в целом не влияет на вид модели.

3. Оценить планируемую емкость склада Q_j^* , $j=1,..n$ для каждого выбранного места расположения склада (в общем случае, емкость может быть задана одинаковой для всех точек), где j – количество выбранных мест, подлежащих оценке;

4. Оценить затраты на организацию склада C_j^{org} , $j=1,..n$ для каждого выбранного места расположения (может включать стоимость строительства склада, организацию подъездных путей и т.п. в случае строительства нового объекта, стоимость покупки готового складского помещения, стоимость аренды и т.п.);

5. Оценить переменные затраты, связанные с хранением единицы груза на складе C_j^{load} , $j=1,..n$;

6. С учетом графа логистической цепи, в которую планируется встроить склад, оценить время доставки груза (или расстояния) от поставщиков до склада $\tau_{i,j}^+$, $i=1,..k$, $j=1,..n$ и от склада до потребителей $\tau_{i,j}^-$, $i=1,..p$, $j=1,..n$ на основе информации о доступных маршрутах движения соответствующего вида транспорта.

7. Оценить затраты на доставку единицы груза в единицу времени (или на единицу расстояния) от поставщиков на склад $c_i(\tau_{i,j}^+)$, $i=1,..k$, $j=1,..n$ и от склада до потребителей $c_i(\tau_{i,j}^-)$, $i=1,..p$, $j=1,..n$;

8. Место расположения склада предлагается выбрать на основе целевой функции, включающей следующие компоненты затрат на организацию и функционирование j -го склада, $j=1,..n$:

- единовременные затраты на организацию склада в заданном месте C_j^{org} ;

- постоянные затраты на содержание склада в заданном месте в единицу времени C_j^{tec} ;

- затраты на доставку груза от склада до потребителей

$$C_{j,t}^+ = \sum_{i=1}^k c_i (\tau_{i,j}^+) \cdot \eta_t^+, t=1,..T;$$

- затраты на доставку груза от поставщиков до склада

$$C_{j,t}^- = \sum_{i=1}^p c_i (\tau_{i,j}^-) \cdot \eta_t^-, t=1,..T;$$

- если прогнозируемая загрузка склада в момент t превышает емкость склада, т.е. $Q_{t-1} + \sum_{i=1}^k \eta_t^+ - \sum_{i=1}^p \eta_t^- > Q^*$, тогда $Q_t = Q^*$ и берется штраф за дефицит

места на складе: $C_{j,t}^m = c^m \cdot \min \left\{ 0; \left(Q_{t-1} + \sum_{i=1}^k \eta_t^+ - \sum_{i=1}^p \eta_t^- \right) - Q^* \right\}$, $t=1,..T$, где Q_{t-1} -

загрузка склада в момент $t-1$,

- если прогнозируемая загрузка склада в момент t меньше минимальной разрешенной загрузки склада Q^{**} , при которой поставки потребителям не

осуществляются $0 \leq Q^{**} < Q^*$, т.е. $Q_{t-1} + \sum_{i=1}^k \eta_t^+ - \sum_{i=1}^p \eta_t^- < Q^{**}$, тогда $Q_t = Q^{**}$ и

берется штраф за дефицит груза на складе:

$$C_{j,t}^g = c^g \cdot \max \left\{ 0; Q^{**} - \left(Q_{t-1} + \sum_{i=1}^k \eta_t^+ - \sum_{i=1}^p \eta_t^- \right) \right\}, t=1,..T.$$

Т.о. место расположения склада предлагается выбирать на основе целевой функции:

$$j^* = \min_j \left(\mathbf{E} \left[\sum_{t=1}^T (C_j^{org} + C_{j,t}^+ + C_{j,t}^- + C_{j,t}^m + C_{j,t}^g + C_j^{load} + C_j^{tec}) / (1+d)^t \right] \right), \quad (1)$$

где $\mathbf{E}[*]$ – операция математического ожидания;

d – коэффициент дисконтирования;

$$C_{j,t}^{load} = c^{load} \cdot Q_{t-1},$$

$$Q_t = \begin{cases} Q^{**}, & \text{if } Q_{t-1} + \sum_{i=1}^k \eta_{t-1}^{+i} - \sum_{i=1}^p \eta_{t-1}^{-i} < Q^{**}, \\ Q^*, & \text{if } Q_{t-1} + \sum_{i=1}^k \eta_{t-1}^{+i} - \sum_{i=1}^p \eta_{t-1}^{-i} > Q^*, \\ Q_{t-1} + \sum_{i=1}^k \eta_{t-1}^{+i} - \sum_{i=1}^p \eta_{t-1}^{-i}, & \text{if } Q^* < Q_{t-1} + \sum_{i=1}^k \eta_{t-1}^{+i} - \sum_{i=1}^p \eta_{t-1}^{-i} < Q^{**}. \end{cases}$$

Алгоритм имитационного моделирования загрузки склада приведен в работе [14]. При моделировании проводится L имитационных экспериментов, в каждом из которых оценивается загрузка склада с учетом прогноза потоков поступления η_{t-1}^{-i} и оттока η_{t-1}^{+i} груза, как случайных процессов, моделируемых на основе временных рядов с добавлением случайной составляющей на основе моделирования остатков модели типа авторегрессии скользящего среднего с трендом, либо на основе моделирования рядов вида $\sum_{j=0}^M D^j$, где M – характеризует количество однородного вида груза – дискретная стационарная случайная величина, а D – объем j -го груза ($j=1,..M$), описываемый непрерывной стационарной случайной величиной, эти параметры моделируются методом обратной функции на основе статистических данных. Для модели, приведенной в настоящей статье, описанный в работе [14] алгоритм модифицирован с целью учета времени движения грузового транспорта, стоимостей перевозок, затрат на хранение и организацию склада.

Апробация

Проведем вычислительный эксперимент. Пусть рассматривается проект организации склада для хранения строительных материалов одного вида, например, щебня. Груз поступает от четырех поставщиков (например, железнодорожные грузовые терминалы), обозначенных А, В, С, D. Со склада груз отгружается четырем потребителям (магазины, строительные площадки и т.п.): обозначены: P1, P4, ISU, PSC.

Структура потоков поступления груза на склад приведена в таблице 1.

Таблица № 1

Структура потоков поступления и оттока груза

Обозначение	Характеристика потоков от поставщиков	Обозначение	Характеристика потоков к потребителям
A	$\eta_{t+\tau}^1 = 12.67t + v_{t+\tau}^1$ $v_{t+\tau}^1 = 632.634 + 0.877 v_{t+\tau-1}^1 + \varepsilon_{t+\tau}^1$	P1	$\eta_{t+\tau}^3 = 90.403 + \frac{1.659}{2.986} \eta_{t+\tau-1}^3 - 0.939 \eta_{t+\tau-2}^3 + \frac{0.769}{0.197} \varepsilon_{t+\tau-1}^3 + \varepsilon_{t+\tau}^3$
D	$\eta_{t+\tau}^2 = 2221.980 + \frac{1.187}{332.800} \eta_{t+\tau-1}^2 - 0.463 \eta_{t+\tau-2}^2 + \varepsilon_{t+\tau}^2$	P4	Поток описываемый моделью: $\sum_{j=0}^{N^1} R^{1,j}$ $N^1: \mathbf{E}[N^1]=12.600, \sigma[N^1]=3.393$ $R^1: \mathbf{E}[R^1]=13.050 \text{ м}^3, \sigma[R^1]=6.573$
B	Поток описываемый моделью: $\sum_{j=0}^{M^3} D^{3,j}$ $M^3: \mathbf{E}[M^3]=3.15, \sigma[M^3]=0.875$ $D^3: \mathbf{E}[D^3]=151.200 \text{ м}^3, \sigma[D^3]=79.827$	ISU	Поток описываемый моделью: $\sum_{j=0}^{N^2} R^{2,j}$ $N^2: \mathbf{E}[N^2]=22.500, \sigma[N^2]=8.192$ $R^2: \mathbf{E}[R^2]=13.300 \text{ м}^3, \sigma[R^2]=8.157$
C	Поток описываемый моделью: $\sum_{j=0}^{M^4} D^{4,j}$ $M^4: \mathbf{E}[M^4]=1., \sigma[M^4]=0.834$ $D^4: \mathbf{E}[D^4]=220.800 \text{ м}^3, \sigma[D^4]=131.592$	PSC	Поток описываемый моделью: $\sum_{j=0}^{N^3} R^{3,j}$ $N^3: \mathbf{E}[N^3]=3.650, \sigma[N^3]=1.137$ $R^3: \mathbf{E}[R^3]=9.100 \text{ м}^3, \sigma[R^3]=3.291$

На рис. 1 приведены поставщики, потребители груза в координатной плоскости с учетом местоположения объектов, а так же места, где возможно

расположение склада, соответствующие стратегии размещения склада обозначены: S1, S2, S3, S4. Точка SS – характеризует координаты места, рекомендуемого для размещения склада по методу центра тяжести, с учетом координат поставщиков и потребителей груза и грузовых потоков по средним значениям потоков (приведена для сравнения). Отметим, что в указанном месте размещение склада невозможно в связи с особенностями городской застройки.

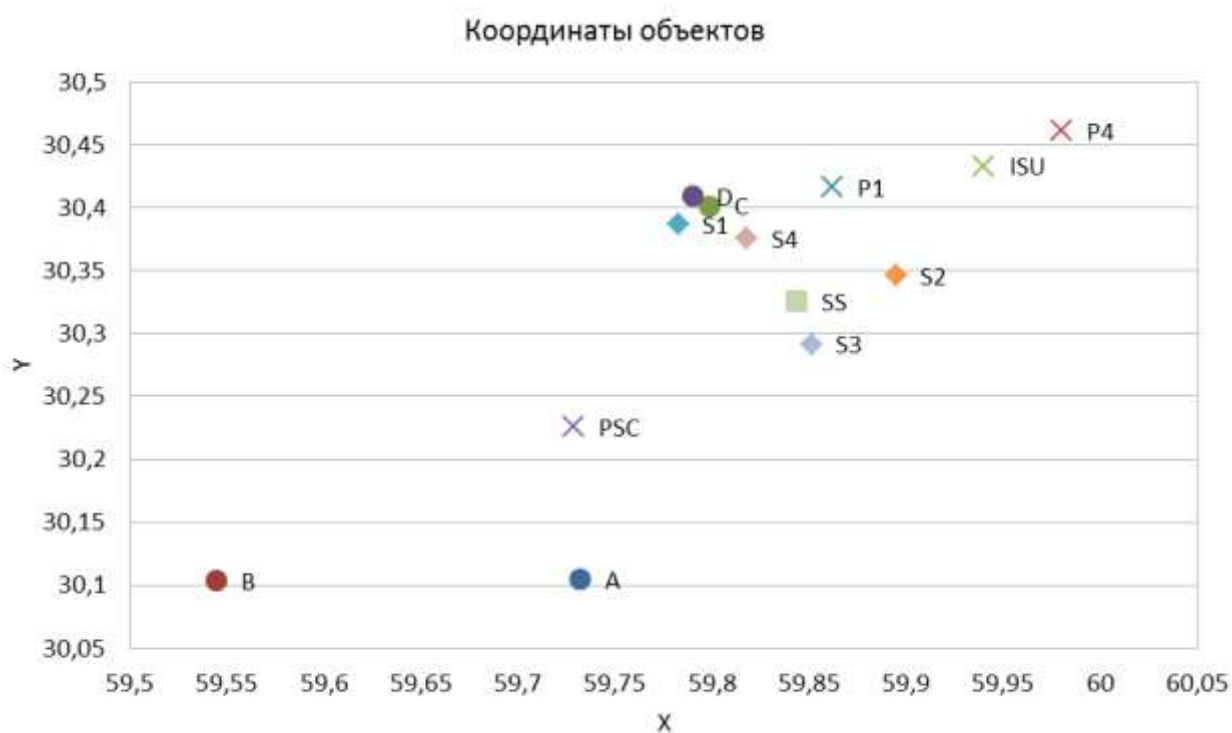


Рис. 1. – Координаты объектов

На следующем этапе оценено время движения грузового транспорта по разрешенным маршрутам между складами и поставщиками, складами и потребителями с учетом мест расположения претендентов на организацию склада, доступных для большегрузного транспорта дорог (в данном случае, для 10 т.).

Время движения между исследуемыми объектами приведено в таблице 2.

В таблице 3 приведены значения параметров стоимостей, используемых в расчетах. Модельная единица времени – месяц, ставка дисконтирования – 0.016 в мес., $T=12$ мес.

Таблица № 2

Время движения между исследуемыми объектами, мин.

Пункт отправления	Пункт назначения				Пункт отправления	Пункт назначения			
	S1	S2	S3	S4		P1	P4	ISU	PSC
A	29	48	70	38	S1	25	39	41	22
B	51	61	82	51	S2	16	44	25	40
C	23	33	54	24	S3	33	47	34	42
D	24	34	55	26	S4	17	29	31	25

Таблица № 3

Значения параметров стоимостей, используемых в расчетах

Параметр	Значение	Параметр	Значение			
			S1	S2	S3	S4
Стоимость хранения, руб. за m^3 /мес.	50,7	C_j^{org} , млн.руб	1,2	1,3	1,1	0,3
Стоимость перевозки, руб. за m^3 /мин.	1,4	C_j^{tec} , тыс.руб.	25	25	25	80
Штраф за дефицит груза на складе, руб. за m^3	20	Q^{**} , m^3	14000	14000	14000	12000
Штраф за дефицит места на складе, руб. за m^3	25	Q^* , m^3	50	50	50	50

Расчеты проведены с помощью разработанного автором программного средства для имитационного моделирования характеристик функционирования склада. Количество имитаций для достижения достаточной точности расчетов - 500000. Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица № 4

Характеристики затрат для каждого выбранного места расположения склада, руб.

Оценка показателя	t	S1	S2	S3	S4
мат. ожидания затрат суммарно к моменту t, руб.	1	1491496,41	1598610,22	1413575,30	647808,94
	2	1860238,07	1974404,30	1803618,77	1071346,49
	3	2267617,59	2388500,83	2231241,20	1529562,17
	4	2685221,72	2812698,86	2668564,81	1993836,59
	5	3098857,11	3232824,84	3101246,55	2449731,39
	6	3504365,01	3644766,04	3525192,02	2893428,94
	7	3901766,07	4048324,54	3940424,35	3325215,40
	8	4290871,53	4443567,21	4347212,31	3745421,24
	9	4669987,14	4828749,77	4743473,75	4152545,57
	10	5035867,92	5200562,20	5126257,60	4543725,73
	11	5385514,87	5556086,75	5492504,73	4916508,78
	12	5717770,94	5893939,86	5841090,07	5269875,24
ср.кв. отклонение	12	1445509,16	1444615,36	1445822,74	1248682,44

Результаты моделирования показали, что планируемые затраты на функционирование склада S1 меньше чем склада S3, несмотря на то, что стоимость организации склада S3 меньше и по координатам в пространстве он ближе располагается, чем S1. Это подтверждает гипотезу о том, что метод центра тяжести не дает хороших результатов и обусловлено доступностью дорожной сети для требуемого вида транспорта. Учитывая выбранный критерий (1), в качестве места размещения склада рекомендуется выбрать S4. Выбранная стратегия организации склада предусматривает аренду уже имеющегося складского помещения с ежемесячными платежами. Для стратегии S4 также характерно самое низкое значение среднего квадратического отклонения, что говорит о меньшем риске превышения затрат запланированных значений. Однако, ввиду того, что значения математического ожидания затрат для S4 не существенно меньше, чем для остальных мест по характеристикам, стоит оценить затраты на более продолжительный период, когда строительство нового склада, например, в соответствии со стратегией S1, станет менее затратным в связи с отсутствием платежей за аренду.

Заключение

В работе предложен алгоритм решения задачи выбора места расположения нового склада хранения груза с учетом прогноза динамики поставок груза на склад и потребителям со склада. Описан математический инструментарий, позволяющий оценить методами имитационного (статистического) моделирования динамику затрат на организацию и функционирование склада в условиях нестационарных потоков поступления и оттока груза со склада. Проведена апробация модели и алгоритма выбора места расположения склада на основе анализа прогноза затрат. Предложенный инструментарий обладает новизной в разрезе учета нестационарных потоков поступления и оттока груза на склад и реальных маршрутов движения транспорта при выборе места расположения склада и будет полезен аналитикам и менеджерам логистических компаний при принятии решений по развитию логистической сети.

Работа выполнена в рамках гранта на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета.

Литература

1. Гусев С. Проблемы определения местоположения склада // Логистика. 2011. № 2(55). С. 53-55.
2. Монгуш Б.С. Модели и проблемы решения транспортно-складских задач // Бюллетень транспортной информации. 2017. № 5(263). С. 27-29.
3. Huifeng J., Xu A. The method of warehouse location selection based on GIS and remote sensing images // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008. Vol. XXXVII. Part B2. pp. 545- 548.



4. Попов П.В., Хартовский В.Е. Построение модели формирования региональной складской сети // Вестник МГСУ. 2016. № 8. С. 133-142.
 5. Попов П.В., Мирецкий И.Ю. Методология построения логистической инфраструктуры на территории региона // Экономика региона. 2019. Т. 15, № 2. С. 483-492. DOI 10.17059/2019-2-13.
 6. Cui H., Chen X., Guo M., Jiao Y., Cao J., Qiu J. A distribution center location optimization model based on minimizing operating costs under uncertain demand with logistics node capacity scalability // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2023. Vol. 610. 128392. DOI: doi.org/10.1016/j.physa.2022.128392.
 7. Kudláčková N. Miroslav N. Možnosti vytvoreni skladove site v logistice posledni mile. Perner's Contacts. 2020. № 15(1). DOI: 10.46585/pc.2020.1.1540
 8. You M., Xiao Y., Zhang S., Yang P., Zhou S. Optimal mathematical programming for the warehouse location problem with Euclidean distance linearization // Computers & Industrial Engineering. 2019. Vol. 136. P. 70-79. DOI: doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.020.
 9. Константинов Р.В. Проектирование оптимальной складской сети // Инженерный вестник Дона. 2011. № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/581
 10. Попов П.В. Модель формирования складской инфраструктуры региона с учетом вероятностного спроса на товар // Казанский экономический вестник. 2019. № 4(42). С. 71-76.
 11. Szczepański E., Jachimowski R., Izdebski M., Jacyna-Gołda I. Warehouse location problem in supply chain designing: a simulation analysis // Archives of Transport. 2019. 50. P. 101-110. DOI: 10.5604/01.3001.0013.5752.
 12. Jacyna M., Wasiak M., Bobinski A. SIMMAG3D as a tool for designing of storage facilities in 3D // Archives of Transport. 2017. 42(2). P. 25-38.
-



13. Fauadi M.H.F. Md., Azimi N.Z., Anuar N.I., Ali M.M., Sued M.K., Ramlan S. Simulation Approach for Logistical Planning in a Warehouse: A Review // Oriental Journal of Computer Science and Technology. 2018. Vol. 11. №. (4). P. 201-208. DOI: dx.doi.org/10.13005/ojcs11.04.05.
14. Яркова О.Н., Москаленко Л.П. Параллельный алгоритм имитационного моделирования динамики объема груза на складе хранения // Инженерный вестник Дона. 2024. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9262.

References

1. Gusev S. Logistics. 2011. № 2(55). pp. 53-55.
 2. Mongush B.S. Transport Information Bulletin. 2017. № 5(263). pp. 27-29.
 3. Huifeng J., Xu A. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008. Vol. XXXVII. Part B2. pp. 545- 548.
 4. Popov P.V., Khartovskiy V.E. Bulletin of MGSU. 2016. № 8. pp. 133-142.
 5. Popov P.V., Miretskij I.Yu. Economy of the region. 2019. Vol. 15. № 2. pp. 483-492. DOI: 10.17059/2019-2-13.
 6. Cui H., Chen X., Guo M., Jiao Y., Cao J., Qiu J. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2023. Vol. 610. 128392. DOI: doi.org/10.1016/j.physa.2022.128392.
 7. Kudlackova N., Miroslav N. Perner's Contacts. 2020. № 15(1). DOI: 10.46585/pc.2020.1.1540
 8. You M., Xiao Y., Zhang S., Yang P., Zhou S. Computers & Industrial Engineering. 2019. Vol. 136. P. 70-79. DOI: doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.020.
 9. Konstantinov R.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2011. № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/581.
 10. Popov P.V. Kazan Economic Bulletin. 2019. № 4(42). С. 71-76.
-



11. Szczepański E., Jachimowski R., Izdebski M., Jacyna-Gołda I. Archives of Transport. 2019. 50. pp. 101-110. DOI: 10.5604/01.3001.0013.5752.
12. Jacyna M., Wasiak M., Bobinski A. SIMMAG3D as a tool for designing of storage facilities in 3D. Archives of Transport. 2017. 42(2). pp. 25-38.
13. Fauadi M.H.F. Md., Azimi N.Z., Anuar N.I., Ali M.M., Sued M.K., Ramlan S. Oriental Journal of Computer Science and Technology. 2018. Vol. 11. №. (4). pp. 201-208. DOI: dx.doi.org/10.13005/ojcs11.04.05.
14. Yarkova O.N., Moskalenko L.P. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9262.

Дата поступления: 24.08.2024

Дата публикации: 26.09.2024