

УДК 656.025

Оптимизация процессов транспортировки строительных изделий в целях повышения экономической эффективности работы завода железобетонных конструкций

Д-р техн. наук, профессор Антипова Т.Н. antipova@ut-mo.ru

Чекашкина Р.Н. rauhenek@gmail.com

*Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Московской области
«Технологический университет»*

141074, г. Королев, Московская область, ул. Гагарина, 42

Целью работы является разработка математических моделей оптимизации процессов транспортировки строительных изделий железобетонных конструкций и оптимизации назначения водителей на транспортные средства. Данные модели позволяют максимизировать эффективность работы специалистов и минимизировать транспортные расходы. Объектом исследования является завод железобетонных изделий. Предметами исследования является процесс транспортировки изделий завода железобетонных конструкций и процесс назначения водителей. При проведении исследования применялись методы принятия оптимальных решений, в частности методы решения задач линейного программирования с использованием пакета прикладных программ Excel. Проведен анализ структуры перевозок. Выявлено, что оперативно (ежедневно) могут меняться строительные площадки, куда доставляются со складов железобетонные конструкции. Следовательно, меняются тарифы и планы перевозок. Это подтверждает необходимость разработки постоянно действующей компьютерно-реализованной модели расчета оптимального плана транспортировки изделий завода железобетонных конструкций. Разработанная постоянно действующая компьютерно-реализованная модель оптимизации процессов транспортировки строительных изделий позволяет оперативно реагировать на изменение уровня спроса на железобетонные изделия, изменение их запасов на складах, изменения тарифов перевозок, изменения количества, и расположения потребителей (строительных площадок), и обеспечивает минимизацию совокупных затрат на перевозки, а также помогает распределять водителей на транспортные средства так, чтобы совокупная эффективность их работы была максимальной. Разработанные модели просты для практического применения, универсальны и доступны широкому кругу пользователей, то есть могут применяться на любых предприятиях, связанных с перевозками. Доступность данных моделей, прежде всего, определяется использованием пакета прикладных программ Excel.

Ключевые слова: оптимизация, эффективность, логистика, компьютерно-реализованная модель, планирование.

DOI: 10.17586/2310-1172-2018-11-2-3-11

Optimization of processes of transportation of construction products in order to increase the economic efficiency of the plant reinforced concrete structures

D.Sc., professor Antipova T.N. antipova@ut-mo.ru

Chekashkina R.N. rauhenek@gmail.com

*State budgetary educational institution of higher professional education Moscow region
«University of technology»*

141074, Korolev, Moscow region, Gagarin street, 42

The aim of this work is to develop mathematical models for optimizing transportation processes construction products, reinforced concrete structures and optimize the assignment of drivers to vehicles. These models allow us to maximize technician efficiency and minimize transportation costs. The object of research is precast concrete factory. Subjects research is the process of transporting the products of the plant of reinforced concrete structures and the process of appointing the drivers. The study used the methods of optimal decision making, in particular methods for solving linear programming problems using the software package Excel. The analysis of the structure of transport. Revealed that the operative (daily) may vary the construction site, where it is transported from the warehouses of reinforced

concrete construction. Therefore, changing rates and plans transportation. This confirms the need for the development of a permanent computer-implemented model for the calculation of an optimal plan transport of products of plant concrete structures. Developed a permanent computer-implemented model of optimization of processes of transportation of building products allows to respond quickly to changes in the level of demand for concrete products, modify stocks, changes in tariffs of transport, changes in the number and location of users (construction sites), and minimizes total transport costs, and also helps to allocate drivers to vehicles so that the total effectiveness of their work was the highest. The developed model simple for practical use, universal and available to a wide range of users, that is can be applied to any business-related transportation. The availability of these models is primarily determined using the software package Excel.

Keywords: optimization, efficiency, logistics, computer-implemented model, planning.

В настоящее время ни одно предприятие не обходится без транспортных перевозок, т.к. это обеспечивает производства сырьем и доставку готового товара потребителям. С помощью транспортных средств сокращается рабочее время на создание и реализацию продукции, тем самым обеспечиваются рост производительности труда и снижение себестоимости продукции [3]. Особое внимание стоит уделять задачам, связанным с планированием маршрутов. Это позволит сократить время на доставку грузов к потребителю, а также сократить расходы на перевозки.

Поэтому задачам в области формирования оптимальных транспортных маршрутов посвящены многочисленные исследования в разных странах мира [1, 4, 5, 13].

Особую актуальность приобретают работы, позволяющие точно вычислять объемы грузоперевозок, рассчитывать количество единиц транспорта, необходимых для обеспечения перевозки грузов, определять рациональные маршруты движения, а также значительно сократить затраты на транспортировку. Эти обстоятельства помогают принять правильное управленческое решение и подтверждают актуальность темы [7, 8].

В качестве предмета исследования нами выбран процесс транспортировки изделий заводов железобетонных конструкций (ЖБК) Домостроительного комбината в Москве. Данный домостроительный комбинат относится к предприятиям полного производственно-инвестиционного цикла, начиная от производства железобетонных конструкций и заканчивая продажей готового жилья. Комбинат выпускает разнообразные железобетонные изделия, такие как: плиты железобетонные для покрытия временных автодорог, шахты вентиляционные объемные и сборно-объемные железобетонные, плиты перекрытий железобетонные сплошные, блоки инженерных коммуникаций лестнично-лифтового узла, электроблоки железобетонные для жилых домов, марши и площадки лестниц железобетонные, панели стеновые внутренние железобетонные, плиты балконов и лоджий железобетонные, колонны железобетонные, балки железобетонные для жилых домов, изделия входов железобетонные, карнизные элементы железобетонные для жилых домов и др.

Комбинат реализует такие бизнес-процессы, как выбор поставщиков, контроль исходных компонентов (цемент, песок, металлическая арматура и др.), технологические операции изготовления бетонных конструкций, приемо-сдаточный контроль готовой продукции и транспортировка изделий на строительные площадки. Совокупность всех бизнес-процессов рассматривается как система. Таким образом, методологической основой управления качеством данных бизнес-процессов является системный и процессный подходы. Системный подход гарантирует, что улучшение хотя бы одного из элементов системы (процесса) приведет к качественному улучшению системы в целом [10].

Проведенные исследования были направлены на управление качеством процесса перевозок готовой продукции [14, 6].

Методологической основой управления качеством логистических процессов являются системный и процессный подходы [15].

Оптимизация перевозок – процесс выбора из множества возможных (альтернативных) вариантов наилучшего плана перевозок однородной продукции, т. е. оптимального, с точки зрения принятого критерия оптимальности и определенных ограничений [2, 9, 11, 12].

В настоящее время наблюдается рост строительства как жилых домов, так и производственных помещений. Так как количество строительных площадок меняется, вместе с этим ежедневно меняются запросы на поставку железобетонных изделий. Нами была изучена динамика потребностей в ЖБК на строительных площадках. Ниже приведен график (рис. 1), где видно, как меняются запросы на ЖБК. На оси абсцисс указаны строительные площадки, а на оси ординат количество запрашиваемых изделий. Светло-серым цветом обозначено количество железобетонных конструкций, запрашиваемых на четырех строительных площадках 15 сентября 2017 года, а темно-серым цветом количество ЖБК, запрашиваемых 16 сентября 2017. Таким образом, ежесуточные изменения в потребностях ЖБК составляют от 9% до 13,3%.

Также меняется количество запасов на складах и тарифы на перевозки, что связано с особенностями производства ЖБК и изменениями места расположения строительных площадок и транспортных средств, что обуславливает необходимость разработки оперативных планов перевозок ЖБК.

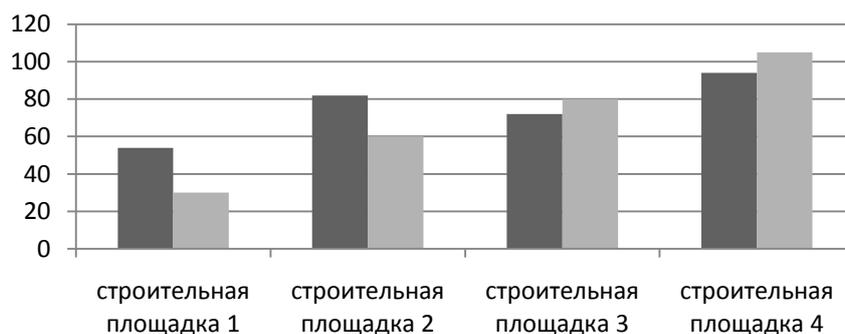


Рис. 1. Изменение запросов изделий на строительных площадках

Нами разработана постоянно действующая компьютерно-реализованная модель расчета оптимального плана перевозок изделий. Задача расчета оптимального плана перевозок изделий относится к задачам линейного программирования, и реализована с помощью программного пакета MS-Excel [3, 10, 13].

Для разработки оптимизационной модели были использованы исходные данные о количестве складских помещениях и запасах в них железобетонных конструкций, количестве потребителей (строительных площадках) и запрашиваемое на них количество изделий, тарифах (стоимости) на перевозку грузов от склада до потребителя, полученные в результате анализа транспортных перевозок в течение одного рабочего дня (табл. 1). В таблице на сером фоне приведены тарифы (руб.) на перевозку одной тонны железобетонных конструкций от i -го поставщика к j -му потребителю.

Для разработки математической модели оптимального плана перевозок железобетонных конструкций необходимо выполнить следующие этапы:

- сформулировать цель и обосновать критерий оптимальности
- обосновать управляемые переменные;
- сформулировать целевую функцию;
- сформулировать ограничения;
- обосновать метод решения.

Таблица 1

Исходные данные оптимизационной задачи

Склады	Пункты потребления				Запасы изделий, тонн
	Строительная площадка 1	Строительная площадка 2	Строительная площадка 3	Строительная площадка 4	
Склад 1	690	575	1000	663	110
Склад 2	1000	235	1103	558	105
Склад 3	702	485	925	663	87
Потребности	54	82	72	94	–

Критерием оптимальности является минимизация совокупных транспортных расходов на перевозку изделий (P). Управляемыми переменными является количество изделий, перевозимых с каждого склада на каждую строительную площадку в тоннах (табл. 2).

Таблица 2

Матрица управляемых переменных

Склады	Пункты потребления				Запасы изделий, тонн
	Строительная площадка 1	Строительная площадка 2	Строительная площадка 3	Строительная площадка 4	
Склад 1	X_{11}	X_{21}	X_{31}	X_{41}	110
Склад 2	X_{12}	X_{22}	X_{32}	X_{42}	105
Склад 3	X_{13}	X_{23}	X_{33}	X_{43}	87
Потребности	54	82	72	94	–

Целевая функция это математическая зависимость критерия оптимальности от управляемых и неуправляемых переменных.

В данной модели целевая функция представлена следующим уравнением:

$$\begin{aligned}
 P = & 690 \times x_{11} + 1000 \times x_{12} + 702 \times x_{13} + 575 \times x_{21} + 235 \times x_{22} + \\
 & +485 \times x_{23} + 1000 \times x_{31} + 1103 \times x_{32} + 925 \times x_{33} + 663 \times x_{41} + \\
 & +558 \times x_{42} + 663 \times x_{43} \rightarrow \min
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

При формулировании ограничений учитываются управляемые переменные и количество изделий, находящихся на складах и количество изделий, запрашиваемых на строительных площадках.

Ограничения по потребностям железобетонных изделий на каждой строительной площадке представлены следующими неравенствами:

$$\begin{aligned}
 x_{11} + x_{12} + x_{13} & \leq 54 \\
 x_{21} + x_{22} + x_{23} & \leq 82 \\
 x_{31} + x_{32} + x_{33} & \leq 72 \\
 x_{41} + x_{42} + x_{43} & \leq 94
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Ограничения по запасам железобетонных изделий на каждом складе имеют вид:

$$\begin{aligned}
 x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} & \leq 110 \\
 x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} & \leq 105 \\
 x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} & \leq 87
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Уравнение целевой функции и неравенства ограничений представляют собой линейные математические зависимости. Поэтому, для решения данной задачи используются методы линейного программирования [12].

По результатам проведенного анализа деятельности отдела комплектации и отгрузки завода железобетонных конструкций и создания математической модели нами разработана постоянно действующая компьютерно реализованная модель расчета оптимального плана транспортировки изделий с заводов ЖБК с использованием ППП MS-Excel. В верхней части рис. 2 представлены исходные данные, а в нижней части результаты решения оптимизационной задачи, т.е. оптимальный план перевозок ЖБК от трех складов к четырем строительным площадкам, при этом минимальные совокупные затраты на перевозки равны 183 727 рублей.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		ПУНКТЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ							Целевая функция	
2	СКЛАДЫ	Стр.пл.1	Стр.пл.2	Стр.пл.3	Стр.пл.4	ЗАПАСЫ, шт			P=	183727
3	Склад 1	690	575	1000	663	110				
4	Склад 2	1000	235	1103	588	105				
5	Склад 3	702	485	925	663	87				
6	ПОТРЕБНОСТИ	54	82	72	94	сумма	302			
7							302			
8										
9		ПУНКТЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ								
10	СКЛАДЫ	Стр.пл.1	Стр.пл.2	Стр.пл.3	Стр.пл.4	ЗАПАСЫ, шт				
11	Склад 1	54	0	0	56	110				
12	Склад 2	0	82	0	23	105				
13	Склад 3	0	0	72	15	87				
14	ПОТРЕБНОСТИ	54	82	72	94					

Рис. 2. Вид листа MS-Excel, соответствующий оптимальному решению

Так как количество изделий, которое нужно доставить на строительные площадки ежедневно меняются, а также меняются места строительных площадок и запасы на складах, то эта модель является базовой для расчета оперативных планов поставок продукции к потребителям.

Изменение исходных данных в базовой модели позволяет оперативно получать скорректированные планы перевозок. Нами проведены расчеты оптимального плана перевозок ЖБК при изменении запасов на складах и потребностей на строительных площадках (верхняя часть рис. 3). Результаты расчетов представлены в нижней части рис. 3. Совокупные затраты на перевозки составили 161 022 рублей.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		ПУНКТЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ							Целевая функция	
2	СКЛАДЫ	Стр.пл.1	Стр.пл.2	Стр.пл.3	Стр.пл.4	ЗАПАСЫ, шт			P=	161022
3	Склад 1	690	575	1000	663	88				
4	Склад 2	1000	235	1103	588	105				
5	Склад 3	702	485	925	663	63				
6	ПОТРЕБНОСТИ	30	60	72	94	сумма	256			
7							256			
8										
9		ПУНКТЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ								
10	СКЛАДЫ	Стр.пл.1	Стр.пл.2	Стр.пл.3	Стр.пл.4	ЗАПАСЫ, шт				
11	Склад 1	30	0	9	49	88				
12	Склад 2	0	60	0	45	105				
13	Склад 3	0	0	63	0	63				
14	ПОТРЕБНОСТИ	30	60	72	94					

Рис. 3. Лист MS-Excel, соответствующий оптимальному решению при изменении исходных данных

Кроме основной задачи оптимизации транспортировки строительных изделий, не менее важной можно считать задачу оптимальное распределение трудовых ресурсов, в частности назначения водителей на транспортные средства.

При этом считается, что квалификация каждого исполнителя позволяет выполнить практически любой вид работ, но с различной производительностью (или в разное время, с разными затратами и т.д.), и каждый исполнитель может быть назначен для выполнения одной конкретной работы, а именно назначен на определенный автомобиль.

Для перевозки ЖБИ имеется 5 типов машин – МАЗ, МАЗ с п/прицепом, КАМАЗ-65115, МАН, СКАНИЯ. Сложность управления тем или иным автомобилем определяется грузоподъемностью и габаритами машины.

В табл. 2 представлены основные характеристики транспортных средств, используемых для перевозки железобетонных изделий на строительные площадки.

Таблица 2

Характеристика грузоподъемности автомобилей

№	Марка автомобиля	Характеристики автомобиля
1	КАМАЗ-65115 с/свал	Грузоподъемность транспортного средства 12 т.
2	МАЗ	Грузоподъемность транспортного средства 19,3 т.
3	МАЗ с п/прицепом	Грузоподъемность транспортного средства 15 т.
4	МАН	Грузоподъемность транспортного средства 21 т.
5	СКАНИЯ	Грузоподъемность транспортного средства 21 т.

Выбор определенного транспортного средства зависит, прежде всего, от габаритов и веса перевозимых изделий.

Проведя наблюдение, эксперты отметили, что каждый водитель по-разному справляется с управлением транспорта, т.к. не всегда чувствует его габариты, особенности маршрута, дорожного покрытия, погодных условий и др. Это напрямую влияет на эффективность работы водителя. Поэтому для повышения эффективности работы важно правильно назначить работника на маршрут.

Данная ситуация является широко распространенной и типичной, практически для всех видов деятельности, связанных с транспортировками. В настоящее время домостроительный комбинат для назначения водителей опирается на опыт диспетчеров. Что не всегда приводит к максимальной эффективности транспортных перевозок. С целью повышения эффективности перевозок целесообразно разработать математическую компьютерно-реализованную модель назначения водителей на различные транспортные средства. Данная модель позволит максимизировать эффективность работы бригады водителей в целом, используемых в определенный период времени.

Нами разработана математическая модель назначения водителей завода железобетонных конструкций на транспортные средства, для перевозки изделий на строительные площадки. В данной задаче надо будет построить модель, которая позволит назначить водителей на машины таким образом, что бы эффективность работы каждого водителя была максимальной, то есть:

Математическая постановка задачи назначения водителей на различные транспортные средства выглядит следующим образом. Критерием оптимальности (F) является максимизация совокупной эффективности работы бригады водителей.

Управляемыми переменными являются значения x_{ij} – бинарные переменные, принимаемые 1 – назначен водитель на машину, 0 – водитель на машину не назначен.

Целевая функция должна максимизировать совокупную эффективность работы бригады водителей:

$$F = \sum c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \tag{4}$$

где c_{ij} – показатель эффективности назначения каждого (i) водителя на определенный (j) вид транспорта, $x_{ij} = 0$ или 1.

При формулировке ограничений нужно учитывать то, что на каждую машину будет назначен только один водитель, в соответствии с оценками эффективности.

$$\begin{cases} \sum_j x_{ij} = 1, i = \overline{1,5}, \\ \sum_i x_{ji} = 1, j = \overline{1,5}, \\ x_{ij} = 0 \text{ или } 1. \end{cases} \tag{5}$$

Оценку эффективности работы выставили эксперты, используя шкалу оценок от 0 до 100. (табл. 2). Эффективность может складываться из нескольких показателей, например, какое количество штрафов водитель получил, управляя транспортным средством, насколько быстро и аккуратно водитель доставил груз на строительные площадки и т.д. Поэтому эксперт, производящий данные оценки, должен иметь соответствующую квалификацию.

Таблица 3

Исходные данные задачи о назначениях

Водители	Марка автомобиля				
	МАЗ	МАЗ с п/прицепом	КАМАЗ-65115 с/свал	МАН	СКАНИЯ
Артем	48	52	79	61	70
Владислав	67	50	83	40	65
Дмитрий	80	77	64	51	68
Сергей	54	79	50	78	67
Ярослав	78	53	76	87	50

Для разработки компьютерно-реализованной модели нами использован ППП Excel.

На рис. 4 представлены исходные данные и результаты решения оптимизационной задачи назначения водителей на различные транспортные средства, где совокупная эффективность работы бригады равна максимальному значению.

		получение внешних данных				подключения	
M3		fx					
	M	N	O	P	Q	R	S
2							
3		Марка автомобиля					
4	Водители	МАЗ	МАЗ с п/прицепом	КАМАЗ-65115 с/свал	МАН	СКАНИЯ	
5	Артем	48	52	79	61	70	1
6	Владислав	67	50	83	40	65	1
7	Дмитрий	80	77	64	51	68	1
8	Сергей	54	79	50	78	67	1
9	Ярослав	78	53	76	87	50	1
10		1	1	1	1	1	
11							
12		Результат					
13		Марка автомобиля					
14	Водители	МАЗ	МАЗ с п/прицепом	КАМАЗ-65115 с/свал	МАН	СКАНИЯ	
15	Артем	0	0	0	0	1	1
16	Владислав	0	0	1	0	0	1
17	Дмитрий	1	0	0	0	0	1
18	Сергей	0	1	0	0	0	1
19	Ярослав	0	0	0	1	0	1
20		1	1	1	1	1	
21							
22							
23							
24	Целевая ф-я	399					
25							
26							

Рис. 4. Запись исходных данных и результатов решения на листе MS-Excel

Для того чтобы решить эту задачу, нужно в Excel создать таблицу, куда мы запишем какие машины используются для перевозки ЖБИ, а также водителей, которые будут перевозить изделия на строительные площадки.

Открываем вкладку поиск решения, и вводим туда ограничения, обозначаем ячейку для целевой функции, определяем, что целевая функция должна быть равна максимальному значению, а также определяем диапазон изменяемых ячеек.

После этого программа рассчитывает наилучший вариант распределения водителей (рис. 4).

В результате решения оптимизационной задачи, можно сделать вывод о том, что максимальная эффективность работы будет достигнута, если водитель Артем будет перевозить ЖБИ на МАЗе, Владислав на МАЗе с п/прицепом, Дмитрий на МАНе, Сергей на КАМАЗе-65115, Ярослав на СКАНИИ.

Данная математическая модель позволяет быстро принять оптимальное управленческое решение, при изменении таких параметров как, уровень квалификации водителей, появление новых транспортных средств, изменение количества водителей, назначаемых на маршрут и др.

Разработанные постоянно действующие математические модели оптимизации процессов транспортировки строительных изделий завода железобетонных конструкций позволяет заводу оперативно реагировать на изменение уровня спроса на железобетонные изделия, изменение их запасов на складах, изменения тарифов перевозок, изменения количества, и расположения потребителей (строительных площадок), и обеспечивает минимизацию совокупных затрат на перевозки. Разработанная постоянно действующая компьютерно-реализованная модель назначения водителей на транспортное средство, позволяет повысить

эффективность работы всей бригады, учитывая эффективность работы каждого водителя. Данные модели являются достаточно универсальными и могут применяться в любых предприятиях, связанных с перевозками.

Литература

1. Антипов С.В., Мусинова Н.Н. Инновационные преобразования в реализации социально значимых программ в городе Москве // Вестник университета. 2013. № 8. С. 82-86.
2. Костевич Л.С. Исследование операций. Теория игр. – Минск: «Высшая школа». 2008. 368 с.
3. Антипов С.В. Конкуренция на рынке муниципальных закупок в Российской Федерации: основные тенденции // Вестник университета. 2015. № 6. С. 99-103.
4. Бауэрсокс Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. Пер. с англ. Н.Н. Барышниковой, Б.С. Пинскера. – М.: ЗАО Олимп-Бизнес, 2008. 640 с.
5. Федоренко И.Я., Морозова С.В. Оптимизация и принятие решений в агроинженерных задачах. – М.: Лань, 2016. 288 с.
6. Озерский М.Д., Исаев В.Г., Костылев А.Г. Применение технологического подхода при оценке качества сложных систем // Сборник трудов по материалам III Международной научно-практической Интернет-конференции «Инновационные технологии в современном образовании». Дата проведения 18 декабря 2015 г. ООО «Научный консультант», «Технологический университет». 2016. С. 520-525. 784 с.
7. Пиявский С.А. Принятие решений. Учеб. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. 179 с.
8. Антипов С.В. Принятие управленческих решений в органах исполнительной власти Экономика. Предпринимательство. Окружающая среда // Международный журнал. 2007. № 4(32). С. 119-122.
9. Тарасова И.Т., Арапова О., Болодурина И., Тарасова Т., Арапова О. Системный анализ. – Оренбург: ОГУ, 2013. 193 с.
10. В. Н. Волкова; Волкова В.Н. Системный анализ информационных комплексов. – М.: Издательство Лань, 2016.
11. Исаев В.Г., Костылёв А.Г., Асташева Н.П. Системный анализ факторов, влияющих на стоимость сложных технических систем при повышении их качества // Вопросы региональной экономики. 2015. № 4. Т. 25. С. 178-184.
12. Крюков С.В. Системный анализ: теория и практика. – Ростов-Н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2011. 228 с.
13. Палагин Ю. Транспортная логистика и мультимодальные перевозки. Технологии, оптимизация, управление. Учеб. пособ. Издательство Политехника, 2015. 272 с.
14. Агарков А.П. Управление качеством. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К». 2017. 204 с.
15. Озерский М.Д., Строителей В.Н., Исаев В.Г., Жидкова Е.А. Эвристическое описание процесса обоснования требований к сложным техническим системам // Информационно-технологический вестник. 2015. № 2(04). С. 111-122.

References

1. Antipov S.V., Musinova N.N. Innovatsionnye preobrazovaniya v realizatsii sotsial'no znachimykh programm v gorode Moskve // *Vestnik universiteta*. 2013. № 8. P. 82-86.
2. Kostevich L.S. Issledovanie operatsii. Teoriya igr. – Minsk: «Vysheishaya shkola». 2008. 368 p.
3. Antipov S.V. Konkurentsiya na rynke munitsipal'nykh zakupok v Rossiiskoi Federatsii: osnovnye tendentsii // *Vestnik universiteta*. 2015. № 6. P. 99-103.
4. Bauersoks Donald Dzh., Kloss Deivid Dzh. Logistika: integrirovannaya tsep' postavok. Per. s angl. N.N. Baryshnikovoi, B.S. Pinskera. – M.: ZAO Olimp-Biznes, 2008. 640 p.
5. Fedorenko I.Ya., Morozova S.V. Optimizatsiya i prinyatie reshenii v agroinzhenernykh zadachakh. – M.: Lan', 2016. 288 p.
6. Ozerskii M.D., Isaev V.G., Kostylev A.G. Primenenie tekhnologicheskogo podkhoda pri otsenke kachestva slozhnykh sistem // *Sbornik trudov po materialam III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi Internet-konferentsii «Innovatsionnye tekhnologii v sovremennom obrazovanii»*. Data provedeniya 18 dekabrya 2015 g. ООО «Nauchnyi konsultant», «Tekhnologicheskii universitet». 2016. P. 520-525. 784 p.
7. Piyavskii S.A. Prinyatie reshenii. Ucheb. Samara: Samarskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2015. 179 p.
8. Antipov S.V. Prinyatie upravlencheskikh reshenii v organakh ispolnitel'noi vlasti Ekonomika. Predprinimatel'stvo. Okruzhayushchaya sreda // *Mezhdunarodnyi zhurnal*. 2007. № 4(32). P. 119-122.
9. Tarasova I.T., Arapova O., Bolodurina I., Tarasova T., Arapova O. Sistemnyi analiz. – Orenburg: OGU, 2013. 193 p.
10. V. N. Volkova; Volkova V.N. Sistemnyi analiz informatsionnykh kompleksov. – M.: Izdatel'stvo Lan', 2016.

11. Isaev V.G., Kostylev A.G., Astasheva N.P. Sistemnyi analiz faktorov, vliyayushchikh na stoimost' slozhnykh tekhnicheskikh sistem pri povyshenii ikh kachestva // *Voprosy regional'noi ekonomiki*. 2015. № 4. Т. 25. P. 178-184.
12. Kryukov S.V. Sistemnyi analiz: teoriya i praktika. – Rostov-N/D: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2011. 228 p.
13. Palagin Yu. Transportnaya logistika i mul'timodal'nye perevozki. Tekhnologii, optimizatsiya, upravlenie. Ucheb. posob. Izdatel'stvo Politehnika, 2015. 272 p.
14. Agarkov A.P. Upravlenie kachestvom. –M.: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K». 2017. 204 p.
15. Ozerskii M.D., Stroitelev V.N., Isaev V.G., Zhidkova E.A. Evristicheskoe opisanie protsessa obosnovaniya trebovaniy k slozhnym tekhnicheskim sistemam // *Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik*. 2015. № 2(04). P. 111-122.

Статья поступила в редакцию 19.01.2018 г.