

Демьянов Дмитрий Геннадьевич

кандидат экономических наук
доцент кафедры экономика,
финансы и бухгалтерский учет
Российская академия народного хозяйства и
государственной службы при Президенте РФ
Челябинский филиал
Россия, Челябинск
x-line@rambler.ru

Dmitry G. Demyanov

candidate of economic sciences
associate professor of economics,
finance and accounting
Russian academy of national economy and
public service under the President
of the Russian Federation
Chelyabinsk branch
Russia, Chelyabinsk
x-line@rambler.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
ЗАТРАТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТРАНСПОРТНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**MODELING AND OPTIMIZATION OF
COSTS IN THE DEVELOPMENT OF
TRANSPORT INFRASTRUCTURE**

Аннотация

Развитие и модернизация транспортной инфраструктуры отражает стратегический характер дорожного хозяйства страны. На основе методов линейного программирования предложен подход условной оптимизации затрат при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. Определен экономический эффект использования технологии ресайклинга при строительстве дорог и классическим способом.

Ключевые слова:

дорожное хозяйство, оптимизация затрат,
управление себестоимостью

Abstract

Development and modernization of transport infrastructure reflects the strategic nature of the country's road sector. On the basis of the methods of linear programming approach is proposed conditional optimization of costs in the construction and reconstruction of roads. It determines the economic effect of the use of recycling technology in the construction of roads and the classical way.

Keywords:

road maintenance, cost optimization, cost control

В российской экономике можно выделить такие сферы, которые, несмотря на множество благоприятных условий, не могут выйти на необходимый уровень конкурентоспособности. К такой сфере непосредственно можно отнести дорожное хозяйство, прилагающее разрозненные усилия для модернизации, тем не менее без целенаправленной государственной поддержки сформировать технологический и технический потенциал ему не удастся. В связи с этим состояние и уровень развития транспортной инфраструктуры выступает сдерживающим фактором социально-экономического развития России.

По оценкам экспертов дорожное хозяйство страны глубоко недоинвестировано, прежде всего, транспортная инфраструктура – куда можно привлекать частные инвестиции [2]. Так, например, в странах с высокоразвитой транспортной инфраструктурой инвестиции в развитие дорожной сети составляют от 3 до 6 % ВВП, то в нашей стране этот показатель до сих пор не превышал 2% ВВП [4].

Расширение и модернизация транспортной инфраструктуры позволяет своевременно удовлетворять растущий спрос на пассажирские и грузовые перевозки, а также поддерживать определенный потенциал для дальнейшего развития региона. Так, например, во время кризиса 2008-2009 гг. увеличение инвестиций в дорожное строительство, позволило повысить пропускную способность сети автомобильных дорог, сократить время, за которое товар достигает своего адресата, уменьшить транзакционные издержки бизнеса [2].

В общей интерпретации транспортная инфраструктура представляет собой совокупность автодорог (дорожное покрытие), инженерных сооружений, предназначенных для движения транспортных средств (мостовые конструкции, путепроводы, эстакады), гидротехнических сооружений (туннели), объектов дорожного сервиса, элементов обустройства дорог, дорожных служб обслуживания и др. [5].

В настоящее время развитие транспортной инфраструктуры осуществляется с некоторым замедлением в сравнении с уровнем 2010 года (табл. 1).

Таблица 1 – Ввод в действие основных производственных мощностей транспорта

	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Автомобильных дорог с твердым покрытием, тыс. км	7,9	2,6	3,1	2,5	2,4	2,9	2,3
в том числе автомобильных дорог общего пользования	6,6	2,0	2,2	1,9	2,0	2,5	2,0

Источник: Росстат [3]

Вопросы, связанные с транспортной инфраструктурой входят в сферу ответственности государства, которое заинтересовано в ее развитии. Ответственность за развитие инфраструктуры транспорта, сопряженную с высокими затратами, в основном возлагается на органы государственного и муниципального управления.

В среднесрочной перспективе приоритетными обозначены проекты по строительству новых и реконструкции уже существующих объектов транспортной инфраструктуры, объемы финансирования которых выходят за пределы возможностей федерального, региональных и городских бюджетов [5]. В связи с этим, реализация данных проектов потребует привлечения различных источников внебюджетного финансирования, в том числе и частного капитала.

В последнее время в дорожном хозяйстве создаются предпосылки к инвестиционному подъему. Согласно постановлению № 193 Правительства РФ в 2015 году российские регионы дополнительно получили из федерального бюджета 69,3 млрд рублей на строительство дорог [3]. Федеральная поддержка призвана помочь регионам выполнить целевой ориентир удвоения объемов строительства и реконструкции дорог к 2022 году. К этому времени должно быть построено и реконструировано около 50 тыс. км магистралей. При этом автомобильные дороги общего пользования (регионального, межмуниципального, местного значения) на территории субъекта Российской Федерации, должны соответствовать нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям, в результате реконструкции автомобильных дорог.

Нормативные требования к транспортно-эксплуатационным показателям являются одним из важных направлений совершенствования развития дорожного хозяйства страны. Действующие нормативы дорожного строительства создавались в советский период и в настоящее время не учитывают появления современных строительных материалов и технологий. В связи с этим становится актуальной задача усовершенствования стандартов и сводов правил дорожного строительства.

Мировая практика свидетельствует, что успешное преодоление недостатка инвестиций на различных уровнях (федеральном, региональном и муниципальном) для развития и обновления дорожного хозяйства возможно на основе использования механизмов государственно-частного партнерства.

В настоящее время создаются условия для внедрения в российскую практику контрактов жизненного цикла и других схем государственно-частного партнерства [4]: будет изменен порядок оценки проектной документации, учета затрат на строительство (с отделением затрат на подготовку территории и выкуп земли от затрат на строительно-монтажные работы), скорректированы процедуры размещения госзаказа. Планируется создать банк типовых решений по конструкциям дорог и искусственным сооружениям, проработать процедуру формирования перечня НИОКР в дорожно-строительном машиностроении, технологиях дорожного строительства с целью увеличения объемов финансирования научно-исследовательских разработок в дорожно-строительной отрасли.

Для реализации конкурентоспособности транспортной инфраструктуры государственные инвестиции должны выступить своеобразным базисом, которые

помогут частному бизнесу оценить собственные риски, как умеренные, с достаточной доходностью, и на этой основе создать дополнительную стоимость. Это позволит реализовать принцип, когда будущие бюджетные обязательства на объекты транспортной инфраструктуры создают будущие доходы.

Анализ дорожного хозяйства Челябинской области позволяет констатировать его состояние как удовлетворительное. Протяженность сети автомобильных дорог Челябинской области составляет 14,9 тыс. км, в том числе общего пользования 9,2 тыс. км, из которых 8600 км находится в областной собственности, 612 км – в федеральной собственности. Из 612 км федеральных дорог 309 км (50 %) относится к дорогам 3 категории, 173 км – 2 категории, 130 км – 1 категории. Основная часть дорог 3 категории проходит по магистрали М-5 «Урал» и подлежит реконструкции по нормативам 1 категории. Протяженность территориальных дорог общего пользования с твердым покрытием составляет – 98 %.

Недостаточное развитие существующей транспортной инфраструктуры, наиболее остро проявляющееся в несоответствии уровня развития автомобильных дорог уровню автомобилизации и спросу на автомобильные перевозки. Для Челябинской области около 49 % территориальных дорог соответствуют нормативным требованиям по транспортно-эксплуатационным показателям.

Для предпринимательских структур, вовлеченных в дорожное хозяйство (ПСДХ) главным направлением, связанным с основным видом деятельности, является оптимизацией затрат при расширении и модернизации транспортной инфраструктуры.

Оптимизация затрат выступает одним из способов управления себестоимостью продукции дорожного хозяйства и показателем эффективности использования ресурсов.

Процесс управления затратами для большинства ПСДХ носит комплексный характер и предусматривает решение следующих вопросов:

- где, когда и в каких объемах расходуются ресурсы предприятия;
- обеспечение максимально высокого уровня отдачи от использования ресурсов.

Для поиска решений перечисленных управленческих ситуаций подходят статистические и экономико-математические методы, позволяющие для множества допустимых значений переменных решения оптимизировать показатель эффективности – себестоимость продукции.

Главным фактором себестоимости продукции ПСДХ (изготовление нового дорожного покрытия или ремонт существующего) является ценовой фактор стоимости материалов – нижнего (подстилающего) слоя, основания дорожного полотна и битума.

Стоимость рассматриваемых материалов связана с наличием факторов, действующих с заранее известной сезонной периодичностью (табл. 2).

Таблица 2 – Сезонная стоимость материалов на дорожное строительство

№	Структура дорожного полотна	Цена		Объем на 1 км дороги	ед. изм.
		Зима	Лето		
1	Нижний (подстилающий) слой, руб./т	100	180	5 726	т
2	Основание дорожного полотна, руб./т	270	300	4 921	т
3	Битум, руб./л	6	13	26 250	л
4	Черный щебень, руб./т	1 800	1 800	2 457	т
5	Нижний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 000	2 000	2 043	т
6	Верхний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 200	2 200	1 588	т
7	Обочина, руб./т	250	280	3 368	т

Наличие сезонной составляющей при управлении себестоимостью позволяет ПСДХ осуществлять заготовительные мероприятия под будущую хозяйственную деятельность в теплое время года в зимний период. Таким образом, простейшим способом оптимизации затрат является определение величин объемов приобретаемых материалов в разное время года.

Современные экономико-математические методы располагают развитым инструментарием линейного программирования, позволяющим находить решения подобных задач. К задачам линейного программирования сводится широкий класс вопросов планирования экономических процессов, где ставится задача поиска оптимального решения.

Рассматриваемая задача относится к группе задач о смесях. Задачи такого типа позволяют отыскивать наиболее дешевый набор из определенных исходных материалов, обеспечивающих получение смеси с заданными свойствами.

В общем виде формализованная экономико-математическая модель задачи о смесях включает целевую функцию (1) и систему ограничений (2).

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sum a_{ij} \cdot x_j \geq b_i, & i = \overline{1, m}, \\ x_j \geq 0, & j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2)$$

где x_j – количество материала j -го вида, входящего в смесь; c_j – цена материала j -го вида; b_i – минимально необходимое содержание i -го компонента в смеси. Коэффициенты a_{ij} – показывают удельный вес i -го компонента в единице j -го материала.

Целевая функция (1) представляет собой суммарную стоимость смеси. Система ограничений (2) является ограничениями по содержанию компонентов в смеси – смесь должна содержать компоненты в объемах, не менее указанных.

Для определения параметров системы ограничений (2) рассмотрим два сценария управленческих решений, когда материалы (нижний (подстилающий) слой, основание дорожного полотна и битум) приобретаются в один сезон (табл. 3).

Таблица 3 – Себестоимость материалов

№	Структура дорожного полотна	Цена		Объем на 1 км дороги	ед. изм.	Стоимость материалов на 1 км дороги	
		Зима	Лето			Зима	Лето
1	Нижний (подстилающий) слой, руб./т	100	180	5 726	т	572 600	1 030 680
2	Основание дорожного полотна, руб./т	270	300	4 921	т	1 328 670	1 476 300
3	Битум, руб./л	6	13	26 250	л	157 500	341 250
4	Черный щебень, руб./т	1 800	1 800	2 457	т	4 422 600	4 422 600
5	Нижний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 000	2 000	2 043	т	4 086 000	4 086 000
6	Верхний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 200	2 200	1 588	т	3 493 600	3 493 600
7	Обочина, руб./т	250	280	3 368	т	842 000	943 040
Итого затрат						14 902 970	15 793 470

Анализ данных таблицы 3 позволил установить пределы изменения себестоимости материалов необходимых для строительства нового дорожного полотна при условии их покупки в один сезон. Таким образом, стоимость материальных затрат, приходящихся на зимний период года составляет 14902,97 тыс. руб., а в летний – 15793470 тыс. руб. В абсолютном изменении разница составила – 890,5 тыс. руб., темп прироста с учетом сезонности составил 5,98 %.

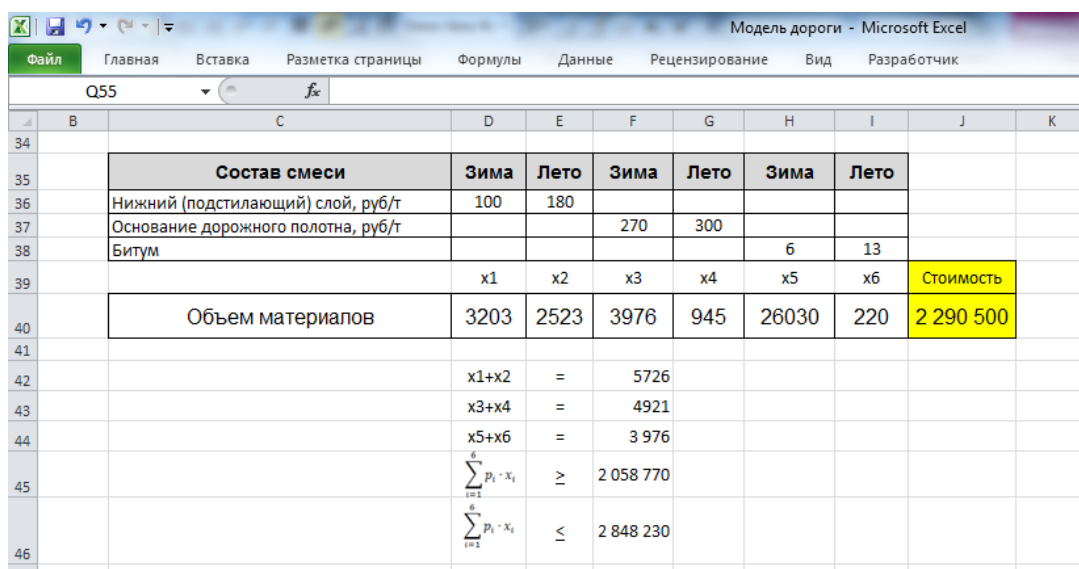
Данные таблицы 3 и методологическое описание задачи о смесях позволяют формализовать решаемую задачу оптимизации затрат в следующем виде

$$f(x) = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + p_3 \cdot x_3 + p_4 \cdot x_4 + p_5 \cdot x_5 + p_6 \cdot x_6 \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_1 + x_2 = 5726, \\ x_3 + x_4 = 4921, \\ x_5 + x_6 = 26250, \\ \sum_{i=1}^6 p_i \cdot x_i \geq 2058770, \\ \sum_{i=1}^6 p_i \cdot x_i \leq 2848230. \end{cases} \quad (4)$$

В модели условной оптимизации (3)-(4) переменными решения выступают: x_1 – объем нижнего (подстилающего) слоя в ценах зимнего периода, x_2 – объем нижнего (подстилающего) слоя в ценах летнего периода, x_3 – объем основания дорожного полотна в ценах зимнего периода, x_4 – объем основания дорожного полотна в ценах летнего периода, x_5 – объем битума в ценах зимнего периода, x_6 – объем битума в ценах летнего периода. Параметрами системы ограничений (4) выступают значения определяемые данными таблицы 3.

На основе экономико-математической модели управления затратами (3)-(4) разработана компьютерная версия модели на базе электронных таблиц Excel (рис. 1).



В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	З
34									
35	Состав смеси	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето		
36	Нижний (подстилающий) слой, руб/т	100	180						
37	Основание дорожного полотна, руб/т			270	300				
38	Битум					6	13		
39		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	Стоимость	
40	Объем материалов	3203	2523	3976	945	26030	220	2 290 500	
41									
42		$x_1 + x_2$	=	5726					
43		$x_3 + x_4$	=	4921					
44		$x_5 + x_6$	=	3 976					
45		$\sum_{i=1}^6 p_i \cdot x_i$	$\geq$	2 058 770					
46		$\sum_{i=1}^6 p_i \cdot x_i$	$\leq$	2 848 230					

Рисунок 1 – Компьютерная модель управления затратами

Эффективным инструментальным средством поиска оптимального решения для табличных моделей условной оптимизации является надстройка «Поиск решения», входящая в состав Microsoft Excel. Для задач линейного программирования «Поиск решения» использует оптимизационный алгоритм под названием «симплекс-метод». Использование надстройки «Поиск решения» позволило определить оптимальный объем материалов, закупаемых по ценам сезонных периодов (табл. 4).

Таблица 4 – Оптимальный объем материалов, закупаемых в сезонный период

№	Вид материала	Сезон		Итого
		Зима	Лето	
1	Нижний (подстилающий) слой, т	3203	2523	5726
2	Основание дорожного полотна, т	3976	945	4921
3	Битум, л	26030	220	26250

На основе данных таблицы 4 рассчитаем себестоимость 1 км дороги (табл. 5).

Таблица 5 – Себестоимость 1 км строительства автомобильной дороги

№	Структура дорожного полотна	Цена		Объем материалов на 1 км дороги		ед. изм.	Стоимость материалов на 1 км дороги	
		Зима	Лето	Зима	Лето		Зима	Лето
1	Нижний (подстилающий) слой, руб./т	100	180	3203	2523	т	774 440	774 440
2	Основание дорожного полотна, руб./т	270	300	3976	945	т	1 357 020	1 476 300
3	Розлив битума, руб./л	6	13	26030	220	л	159 040	159 040
4	Черный щебень, руб./т	1 800	1 800	2 457		т	4 422 600	4 422 600
5	Нижний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 000	2 000	2 043		т	4 086 000	4 086 000
6	Верхний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 200	2 200	1 588		т	3 493 600	3 493 600
7	Обочина, руб./т	250	280	3 368		т	842 000	943 040
Итого затрат							15 134 700	15 355 020

Сравнительный анализ данных таблиц 3 и 5 позволяет рассчитать экономический эффект от реализации оптимального плана производства нового дорожного покрытия. Наличие площадей для складирования части материалов, закупаемых в зимний период года под будущую хозяйственную деятельность позволит получить экономический эффект в размере 658,77 тыс. руб. При этом эффективность данного управленческого решения составит 4,35 %.

Учитывая особую важность развития сети автомобильных дорог для социально-экономического развития Российской Федерации и Челябинской области помимо традиционных методов строительства автомобильных дорог, в последнее время внедряется современная технология строительства и ремонта автомобильных дорог методом холодного ресайклинга.

Технология строительства автомобильной дороги методом холодного ресайклинга предполагает укрепление (стабилизацию) грунта, каменных материалов путем фрезерования и смешивания их с вяжущими материалами. В качестве вяжущих материалов могут выступать специализированные химические добавки, цемент. Основой для выполнения строительства автомобильной дороги данным методом является машина для ресайклинга, представляющая собой фрезерно-смешивающий барабан с большим количеством специальных резцов, которые вращаясь измельчают материал для дорожного покрытия. При фрезеровании в барабан под давлением впрыскиваются вяжущие водно-цементные суспензии, в точно дозируемом количестве. Количество суспензии точно регулируется насосом, управляемым микропроцессорной системой, чтобы влажность готового материала была оптимальной для его уплотнения.

Преимущества строительства дорожного основания методом холодного ресайклинга:

- в результате последовательного смешивания материалов с водой и стабилизаторами повышается качество ресайклируемого слоя. Благодаря микропроцессорной системе управления насосами водно-цементная суспензия поступает в рабочую камеру ресайклера в строго необходимом количестве.

- дорожное основание получает структурную целостность благодаря тому, что слой основания имеет большую толщину и не требует пролива вяжущими материалами между тонкими слоями дорожной одежды, что необходимо при строительстве автомобильных дорог традиционными методами.

- современные машины для ресайклинга отличаются высокой производительностью, что способствует уменьшению времени на производство строительных работ.

- продление срока службы автомобильной дороги без капитального ремонта до 15 лет.

Рассмотрим количество и стоимость материалов при строительстве автомобильной дороги методом холодного ресайклинга при наличии факторов, действующих с заранее известной сезонной периодичностью (табл. 6).

Таблица 6 – Количество и стоимость материалов

№	Структура дорожного полотна	Цена		Объем на 1 км дороги	ед. изм.
		Зима	Лето		
1	Нижний (подстилающий) слой, руб./т	100	180	5 726	т
2	Основание дорожного полотна, руб./т	250	280	2 100	т
3	Цемент, руб./т	3 750	3 750	243,6	т
4	Битум, руб./л	6	13	7 000	л
5	Россыпь ЩПС	100	180	138,7	т
6	Нижний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 000	2 000	2 043	т
7	Верхний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 200	2 200	1 588	т
8	Обочина, руб./т	250	280	3 368	т

Используя надстройку Excel «Поиск решения» определим оптимальный объем материалов, закупаемых по ценам сезонных периодов (табл. 7).

Таблица 7 – Оптимальный объем материалов

№	Вид материала	Сезон		Итого
		Зима	Лето	
1	Нижний (подстилающий) слой, т	3 646	2 080	5 726
2	Основание дорожного полотна, т	189	1 911	2 100
3	Битум, л	4 390	2 610	7 000

На основе данных таблицы 7 рассчитаем себестоимость 1 км дороги (табл. 8).

Таблица 8 – Себестоимость 1 км строительства автомобильной дороги

№	Структура дорожного полотна	Цена		Объем материалов на 1 км дороги		ед. изм.	Стоимость материалов на 1 км дороги	
		Зима	Лето	Зима	Лето		Зима	Лето
1	Нижний (подстилающий) слой, руб./т	100	180	3646	2080	т	364 600	374 400
2	Основание дорожного полотна, руб./т	250	280	189	1911	т	47 250	535 080
3	Розлив битума, руб./л	6	13	4390	2610	л	26 340	33 930
4	Цемент, руб./т	3750	3750	243,6		т	913 500	913 500
5	Россыпь ЩПС	100	180	138,7		т	13 870	24 966
6	Нижний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 000	2 000	2 043		т	4 086 000	4 086 000
7	Верхний слой асфальтобетонной смеси, руб./т	2 200	2 200	1 588		т	3 493 600	3 493 600
8	Обочина, руб./т	250	280	3 368		т	842 000	943 040
Итого затрат							9 787 160	10 404 516

Сравнительный анализ данных таблиц 5 и 8 позволяет рассчитать экономический эффект от реализации оптимального плана производства нового дорожного покрытия методом холодного ресайклинга и традиционным методом. Применение при строительстве автомобильной дороги методом холодного ресайклинга позволит получить экономический эффект в размере 5347540 руб. при условии закупки материалов под будущую хозяйственную деятельность в зимний период года и 4950504 руб. при покупке материалов в летний период года. При этом экономическая эффективность данного управленческого решения в зимний период года составит 35,33 % и 32,24 % в летний период года.

Список использованной литературы

1. Ввод в действие отдельных производственных мощностей // Росстат [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.gks.ru/bgd/regl/b15_11/IssWWW.exe/Stg/d02/18-04.htm
2. Копелевич, И. Улюкаев: «Назад возвращаться нельзя, нужно быть в режиме свободного курсообразования» / И. Копелевич // Бизнес FM : Электронный журн. – М., 2016. – Режим доступа <https://www.bfm.ru/news/325926>

3. Об утверждении Правил предоставления и распределения в 2015 году иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в рамках подпрограммы «Дорожное хозяйство» государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы» [Электронный ресурс] : постановление Правительства РФ от 5 марта 2015 г. № 193. – Режим доступа <http://government.ru/media/files/AMgDLgYSSYE.pdf>

4. Ступин, И. Дорожное строительство в новой системе координат / И. Ступин // Эксперт ONLINE : Электронный журн. – М., 2016. – Режим доступа <http://expert.ru/expert/2011/40/dorozhnoe-stroitelstvo-v-novoj-sisteme-koordinat/>

5. Шевёлкина, К.Л. Финансирование транспортной инфраструктуры на основе государственно-частного партнерства : канд. экон. наук : защищена 16.09.2015 / К.Л. Шевёлкина. – М., 2015. – 185 с.