

УДК 625.76

В. С. Воробьев, О. А. Бендер, Е. А. Карелина, К. В. Катальмова

Концепция повышения эффективности содержания и реконструкции инженерных сооружений автомобильных дорог

Поступила	14.03.2018
Рецензирование	23.03.2018
Принята к печати	02.04.2018

Техническое состояние автомобильных дорог страны в целом и большинства российских регионов не соответствует международным стандартам, несмотря на предпринимаемые усилия, в том числе по увеличению бюджетного финансирования на модернизацию, реконструкцию и содержание дорог.

Для системного решения проблемы качества автомобильных дорог предложена концепция программы реконструкции инженерных сооружений (РЕИНСОР), призванная повысить эксплуатационную надежность инженерных сооружений автомобильных дорог до уровня, обеспечивающего безаварийность движения с заданными пороговыми параметрами эксплуатационных решений при переустройстве и на перспективу. Рассмотрены стратегия планирования реконструкции инженерных сооружений, находящихся в аварийном состоянии, без взаимной увязки надежности и сроков службы, а также стратегия планирования реконструкции как единая система с поддержанием требуемого уровня надежности и сроков службы сооружений. Обоснованы эксплуатационная и реконструктивная стратегии. Предложены программа РЕИНСОР и принципиальная схема ее решения. В основу создания программы РЕИНСОР положена теория жизненного цикла проекта применительно к проблеме реконструкции. Инвестиционный цикл выделяется и прорабатывается в связи с оценкой эффективности проекта реконструкции и его оптимизацией на стадиях научных исследований и проектирования. В качестве критерия эффективности (и оптимизации) программы РЕИНСОР принят минимум инвестиционного цикла $t_{и.ц}$ в пределах возможностей, определяемых системой ограничений.

Приведен пример реализации программы в рамках государственно-частного партнерства по модифицированной модели «Проектирование, строительство, финансирование, эксплуатация». Для оптимизации планирования инвестиций использована функция Перла, позволяющая оценивать риски срыва сроков реализации проектов. Она же применена для оценки эффективности бюджетного финансирования содержания сети автомобильных дорог одного из регионов Новосибирской области.

Ключевые слова: *автомобильные дороги, реконструкция, инженерные сооружения, стратегия, планирование.*

Основой современной сухопутной транспортной системы страны являются автомобильные и железные дороги. В последние годы усиливается значение перевозок автомобильным транспортом в экономике регионов. Возрастают темпы роста строительства новых и реконструкции действующих автомобильных дорог при одновременном повышении качества их содержания [1].

В новых условиях существенно возрастает актуальность системного подхода к выбору экономически выгодных стратегий реконструкции и содержания дорог действующей сети как сложных инженерных сооружений и их основных элементов. В настоящее время оценка качества содержания дорог определяется по результатам диагностики технико-эксплуатационных характеристик согласно ОДН 218.0.006–2002 [2].

Государственным проектом «Безопасные и качественные дороги» планируется увеличить протяженность отремонтированных до-

рог, соответствующих международным стандартам качества, в 2018 г. в 1,5 раза, а к 2025 г. в 1,85 раза по 37 агломерациям в 34 регионах РФ. Реализация данного проекта в установленные сроки возможна при наличии научно обоснованной программы реконструкции инженерных сооружений (РЕИНСОР), за счет привлечения инвестиций на основе государственно-частного партнерства и оптимизации бюджетного финансирования [3].

Нами предлагается следующая концепция содержания и реконструкции инженерных сооружений.

Решение проблемы обеспечения безопасного и надежного движения при эффективной эксплуатационной работе автомобильной дороги в условиях рыночной экономики представляет собой ведущий замысел, цель и конструктивный принцип научно-проектного, технического, организационно-технологического и ресурсного ее решения с учетом рисков [4–7].

При разработке концепции РЕИНСОР необходимы следующие объективные данные:

- текущее состояние элементов инженерных сооружений, наличие и величина эксплуатационного резерва обследованных автомобильных дорог;

- соответствие мощности дорожно-ремонтных и строительных организаций, элементов и сооружений дороги друг другу и интенсивности дорожного движения;

- место и роль дороги в транспортном обслуживании хозяйственного комплекса страны, региона и международных транспортных связей;

- перспектива роста интенсивности движения и ожидаемая динамика характеристик перевозочного процесса (нагрузки, скорости, массы автотранспорта и др.);

- инвестиционные и ресурсные возможности региона на годы практической реализации программы.

Сформулируем функциональные цели решения поставленной проблемы следующим образом:

1. Повышение эксплуатационной надежности инженерных сооружений до уровня, обеспечивающего безаварийность движения автотранспорта с заданными пороговыми параметрами эксплуатационного режима при переустройстве и на перспективу.

2. Повышение долговечности инженерных сооружений. Срок службы сооружений и принципы его выбора следует определять, руководствуясь концепцией жизненного цикла. Предлагается его назначать из условия, что к концу срока технологии содержания выйдут на новый технический уровень с иными нормативными требованиями, условиями и инженерными решениями.

Согласно представлениям о технологическом укладе народно-хозяйственного комплекса и интенсивности реализации достижений НТП на автомобильном транспорте можно предложить два альтернативных варианта срока службы:

- оптимистический – до 2020–2030 гг. (согласно транспортной стратегии развития автомобильных дорог);

- пессимистический – до 2050–2060 гг.

Кроме того, необходимо обеспечение реализации целей, сформулированных в пп. 1, 2,

с учетом перспективы роста нагрузок и повышения интенсивности дорожного движения на сети автомобильных дорог НСО.

В соответствии с системным подходом, представляющим современную методологию решения крупных проблем, следует сначала установить место, роль и значение проблемы в системе внешних связей, ожидаемую динамику событий и возможности решения проблемы в реальных экономических условиях. Нами предлагается следующее понимание стратегии РЕИНСОР.

Стратегия РЕИНСОР должна отвечать, прежде всего, концепции развития сети автомобильных дорог в стране, а также концепции технического перевооружения и модернизации.

Рассмотрим следующие подходы к планированию стратегии:

- 1) планирование РЕИНСОР без взаимной увязки уровня надежности и сроков службы;

- 2) планирование РЕИНСОР как единой системы с поддержанием требуемого уровня надежности и сроков службы (системы прогнозирования и предупреждения сбоев в дорожном движении из-за выхода из строя инженерных сооружений).

Принципиальных отличий в понятии «стратегия», существенно повлиявших бы на конечный результат, нет.

Стратегии содержания и реконструкции инженерных сооружений

Рассмотрим следующие крайние принципиальные стратегии решения проблемы:

- 1) эксплуатационную, при которой цель достигается в результате усиления текущего содержания инженерных сооружений и усиления работ по их капитальному ремонту;

- 2) реконструктивную, при которой производится модернизация и усиление сооружений. При этом мероприятия реализуются как единовременная акция, которая проводится в сжатые сроки на всем протяжении дороги.

Очертим предпочтительные области применения названных стратегий и оценим возможности использования одной из них.

Эксплуатационная стратегия оправдана для муниципальных и, реже, федеральных дорог, на которых не ожидается значительного роста интенсивности движения, имеется определенный резерв провозной и пропускной способности, а несущая способность инже-

нерных сооружений обеспечивается за счет мероприятий эксплуатационного характера.

На значительном протяжении исследованных в [8] участков дорог износ сооружений имеет массовый характер. Он таков, что зачастую не позволяет обеспечивать за счет текущего содержания и капитального ремонта не только перспективные, но даже существующие скорости. Износ и деформации сооружений быстро нарастают, следовательно, интенсивно снижается их надежность (работоспособность) и ремонтпригодность [9, 10]. Обеспечивать долгое время безопасность движения только за счет усиления технического содержания и капитального ремонта (даже при значительном увеличении дорожного персонала и объемов финансирования) не представляется возможным.

Отсюда следует, что эксплуатационная стратегия решения проблемы неэффективна.

Реконструктивная стратегия предпочтительна для федеральных и межмуниципальных дорог, которые исчерпали свою пропускную способность, а инженерные сооружения не обеспечивают надежное и безопасное движение автотранспорта и возрастающие весовые нагрузки.

Реконструктивная стратегия требует периодического закрытия участков дороги для проведения работ. Благоприятными условиями для ее выбора можно считать такие:

- дорога состоит из непротяженных самостоятельных участков;
- имеется возможность переключить движение с них на другие участки или объезды, составляющие вместе с реконструируемой дорогой транспортную решетку (которая обладает свойствами гибко реагировать на изменения ее перевозочных звеньев и временно принимать на себя их перевозочные функции);
- государство (либо отрасль, ведомство) имеет стабильную экономику, проводит (и четко финансирует) долговременную политику технического и технологического перевооружения средств содержания и ремонта автомобильных дорог;
- уже сложился (либо специально формируется) строительный комплекс, специализирующийся на реконструкции инженерных сооружений дорог.

Другие факторы, оправдывающие использование реконструктивной стратегии, таковы:

- ожидается быстрое наращивание интенсивности автомобильных грузовых перевозок;
- инженерные сооружения имеют сильную изношенность (утрату надежности) на всем протяжении дороги или отдельных ее участков;
- регион располагает достаточными свободными инвестиционными ресурсами, а территории – свободными производственно-строительными мощностями и соответствующей базой строительной индустрии для быстрого проведения реконструкции;
- реконструкция проводится в сжатые сроки;
- степень изношенности инженерных сооружений неодинакова как на различных участках, так и по комплексам работ;
- отсутствует возможность переключения транспортных потоков на случаи закрытия движения транспортных средств.

При подборе стратегии следует исходить из объективных ресурсно-финансовых возможностей дорожных фондов и экономических критериев. Поэтому необходима гибкая *компромиссная стратегия*, которая должна допускать большой разброс решений.

В целом, для Новосибирской области предлагается квалифицировать проблему как реконструкцию инженерных сооружений и именовать ее в дальнейшем как программу РЕИНСОР.

В основу концепции РЕИНСОР как системотехнической проблемы должны быть приняты и будут в основном достаточны:

- 1) теория жизненного и инвестиционного циклов функционирования объекта;
- 2) программно-целевой подход к научной и проектно-производственной реализации проблемы проекта реконструкции;
- 3) экосистемная концепция реконструкции и функционирования инженерных сооружений и сети дорог в целом.

Программа РЕИНСОР и принципиальная схема ее решения

В основу создания программы РЕИНСОР положена теория жизненного цикла проекта применительно к проблеме реконструкции [11].

Инвестиционный цикл выделяется и прорабатывается в связи с оценкой эффективности проекта реконструкции и его оптимизацией на стадиях научных исследований и проектирования. При новом строительстве под инвестиционным циклом понимается период $\tau_{и.ц.}$, в течение которого затраты на разработку и реализацию проекта полностью возмещаются получаемыми результатами в процессе эксплуатации объекта (дороги).

При реконструкции под инвестиционным циклом следует понимать период $\tau_{и.ц.}$, в течение которого затраты на разработку и реализацию программы РЕИНСОР полностью возмещаются положительными результатами в работе дороги и в показателях ее эксплуатации (по сравнению с эксплуатационной стратегией поведения).

Отсюда понятен принцип выбора критерия эффективности (и оптимизации) программы РЕИНСОР. Это минимизация инвестиционного цикла $\tau_{и.ц.}$ в пределах возможностей, определяемых системой ограничений. Ими являются:

- ограничения по инвестиционным возможностям заказчика;
- ограничения по наличию свободных производственных мощностей (суммарная мощность привлекаемых строительных и монтажных организаций);
- организационные и технологические ограничения, возникающие в условиях интенсивного движения автотранспорта;
- природные и инженерные условия производства работ, отличающиеся по участкам сети дорог.

В программе РЕИНСОР речь может идти о двух уровнях (и разновидностях) инвестиционного цикла и соответствующих им критериях эффективности:

- в сфере транспорта $\tau_{и.ц.т.}$ (в работе дорог);
- в народно-хозяйственном комплексе $\tau_{и.х.к.}$.

Методика их выбора, расчета функционала (например, экономического результата), сопоставление вариантов реконструкции и оптимизации программы составляют задачу отдельного исследования. Как правило же, $\tau_{и.ц.т.} > \tau_{и.х.к.}$, что особенно характерно для инфраструктурных объектов дорог.

Продолжительность инвестиционного цикла $\tau_{и.ц.}$ непосредственно связана с ресурсоемкостью проекта, т. е. с суммарными затратами труда, материалов, энергии, финансов, природных (экологических) компонентов. Сокращение продолжительности реализации проекта (научного, проектного, производственного периодов) в большинстве случаев достигается увеличением расхода ресурсов. В свою очередь, расход ресурсов определяется принимаемыми технологиями, управлением движением ресурсов, решениями по организации и управлению программой. Эти составляющие и определяют поиск направлений совершенствования инвестиционного процесса и управления инвестиционным процессом. В более широком плане можно говорить о выработке инвестиционной политики программы РЕИНСОР.

Названные составляющие представляют прежде всего предмет научных проработок, технико-экономических обоснований и реализации достижений НТП в проектной документации. Отсюда понятны подходы к реальной оценке эффективности научно-проектных разработок и допустимых расходов на их проведение. Разработка методики (методик) и программно-математического обеспечения, имеющих целью формирование эффективной и гибкой инвестиционной политики программ типа РЕИНСОР, составляет еще одну задачу самостоятельных исследований.

Эффективность планирования содержания и реконструкции инженерных сооружений

Оценка эффективности проведена применительно к реконструкции автомобильной дороги К-17р «Новосибирск – Кочки – Павлодар» по модели взаимодействия государственно-частного партнерства: «Проектирование, строительство, финансирование и эксплуатация» [3].

Дорога реконструирована до I категории на участке км 15 – км 35 (протяженность 20 км) на инвестиции частного инвестора. Для оптимизации планирования инвестиций использована функция Перла:

$$Y = \frac{K}{1 + be^{-at}}, \quad (1)$$

где Y – сумма прямых затрат в договорной цене проекта; K – договорная цена; a , b – коэффициенты; t – текущее время.

В момент времени $t = 0$ значение функции Перла равно:

$$Y = K / (1 + b). \quad (2)$$

Параметры a и b находят методом наименьших квадратов.

$$Y' = \ln(k/Y - 1) = \ln b - at; \quad (3)$$

$$\ln b = \frac{\sum Y' \sum t^2 - \sum t \sum (Y't)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}; \quad (4)$$

$$a = \frac{n \sum (Y't) - \sum t \sum Y'}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}. \quad (5)$$

Предлагаемая модель бюджетного финансирования на стадии строительства автомобильных дорог достаточно просто реализуется стандартным программным обеспечением и может быть рекомендована для практического применения.

Несмотря на своевременную реализацию проекта, существовали риски срыва сроков его выполнения [12]. Нами построены функции Перла для трех пусковых комплексов вышеприведенного проекта.

Последовательность расчетов выполняется по шагам, исходя из договорной цены комплекса и продолжительности строительства.

На рис. 1, 2 приведено графическое представление исходных данных и логистической функции (6) для первого и седьмого шагов аппроксимации.

Итоговая зависимость оптимального бюджетного финансирования по логистической функции имеет следующий вид:

$$Y = \frac{458\,836\,368,3}{1 + 79,46e^{-0,031t}}. \quad (6)$$



Рис. 1. Исходные данные и функция Перла на первом шаге аппроксимации



Рис. 2. Исходные данные и функция Перла на седьмом шаге аппроксимации

На рис. 2 легко увидеть периоды недофинансирования по месяцам.

С целью оценки эффективности прогнозирования и последующего планирования содержания автомобильных дорог одного из районов НСО на 2018 г. нами по приведенному выше алгоритму выполнены расчеты бюджетного финансирования (таблица, рис. 3).

$$Y = \frac{57\,560\,136,09}{1 + 22,49e^{-0,016t}}, \quad (7)$$

где t выражается в днях.

Логистическая функция (7) позволяет планировать во времени бюджетные средства и контролировать потенциально возможные риски недофинансирования и снижения качества выполняемых работ.

Итак, системный подход к научному обоснованию программы РЕИНСОР позволяет привлечь инвестиции частного бизнеса и оптимизировать бюджетное финансирование. Для планирования, оценки рисков бюджетного финансирования РЕИНСОР автомобильных дорог предлагается модель, построенная на гипотезе оптимального управления денежным потоком, описываемым логистической функцией (функцией Перла), параметры которой определяются по каждому участку или пусковому комплексу автодороги по договорной цене, приведенной стоимости одного километра и календарному плану строительства.

Исходные данные и логистическая функция аппроксимации бюджетного финансирования содержания сети автомобильных дорог одного из районов НСО на 2018 г.

Период	Значение до аппроксимации	t^2	$k / Y - 1$	Y_1	$Y_1 \cdot t$	Значение после аппроксимации
0	0,00	0				2450117,67
15	1385567,83	225	37,74274131	3,63079317	54,46189761	3076797,82
45	4156703,49	2025	11,9142471	2,47773492	111,4980714	4806666,63
75	6927839,03	5625	6,748548395	1,90932743	143,1995572	7377425,25
105	10702908,04	11025	4,01552436	1,39016794	145,9676336	11035487,57
135	16477535,83	18225	2,25781091	0,81439572	109,9434222	15931544,16
165	23845164,27	27225	1,251219383	0,22411858	36,97956609	21973862,07
195	31212792,71	38025	0,719829959	-0,3287403	-64,10435133	28726443,61
225	36788295,34	50625	0,459178674	-0,7783159	-175,1210724	35484934,38
255	41169047,35	65025	0,303909113	-1,1910266	-303,7117814	41542575,73
285	45748924,51	81225	0,17337613	-1,7522919	-499,4031863	46458016,78
315	49523993,52	99225	0,083933104	-2,4777352	-780,4865826	50134641,11
345	52295128,63	119025	0,026495152	-3,6307935	-1252,623763	52720534,83
360	53680696,00	129600	0		0	53680696,00
2520		647100	65,69681359	0,29	-2473,400589	

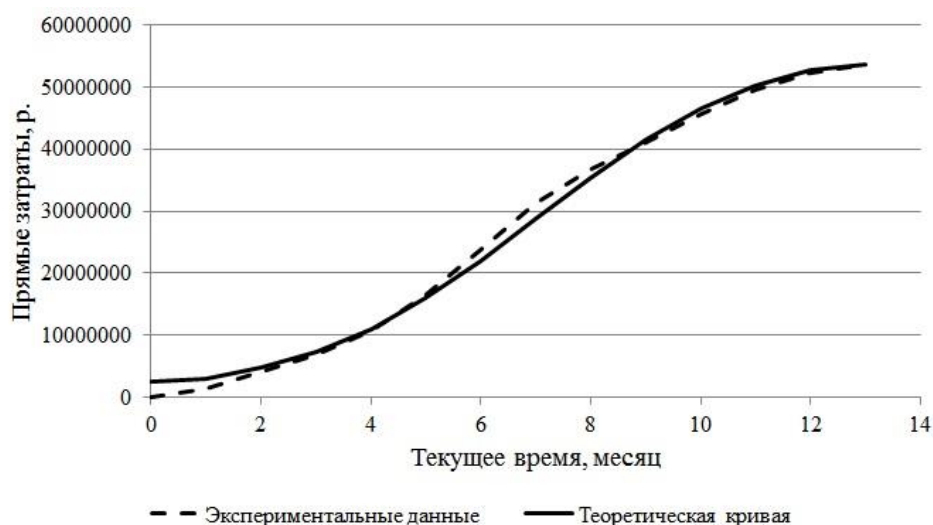


Рис. 3. Исходные данные и логистическая функция бюджетного финансирования содержания сети автомобильных дорог одного из районов НСО

Библиографический список

1. Углова Е. В., Тиратурян А. Н., Шамраев Л. Г. Современный подход к оценке транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1 (6). С. 38–51.
2. ОДН 218.0.006–2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. Основные положения. Утв. распоряжением Минтранса РФ от 03.10.2002 № ИС-840-р.
3. Катыльмова К. В. Совершенствование экономических отношений государства и частного бизнеса при реализации проектов автомобильных дорог в условиях рисков : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05. Новосибирск, 2013. 24 с.
4. Верескун В. Д. Организационно-технологическая надежность и эффективность функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2010. 256 с.
5. Барсук М. Н. Совершенствование методов и средств оценки технического состояния автомобильных дорог по геометрическим и эксплуатационным параметрам : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11. Новосибирск, 2013. 24 с.
6. Кокодегва Н. Е. Проектирование, строительство и эксплуатация транспортных сооружений по условию обеспечения безопасности движения с учетом теории риска // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2013. № 1. URL: trts.esrae.ru/1-3 (дата обращения: 15.02.2018).
7. Бендер О. А. Оценка и прогнозирование рисков в системе инструментального контроля транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11. Новосибирск, 2013. 23 с.
8. Карелина Е. Л. Определение причин нарушения ровности покрытия дорожной одежды на участках устройства водопропускных труб // Политранспортные системы : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. в рамках года науки Россия – ЕС. Новосибирск, 2015. С. 287–293.
9. Пай В. Э. Составление каталога дефектов земляного полотна и дорожной одежды для назначения восстановительных работ на основе нового подхода // Неделя науки 2014. «Наука МИИТа – транспорту» : тр. науч.-практ. конф. : в 2 ч. М., 2014. Ч. 1. С. II/36–II/37.
10. Николенко Д. А., Кмета А. Г. Прогнозирование деформаций и разрушений дорожных конструкций автомобильных дорог // Строительство. Ростов н/Д, 2014. С. 35–36.
11. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / сост. В. В. Косов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахназаров. М. : Экономика, 2000. 421 с.
12. Воробьев В. С., Пингасов Д. В., Катыльмова К. В. Оценка риска своевременной реализации проекта автомобильной дороги на стадии строительства // Сборник научных трудов SWorld : материалы междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании» 2011». Одесса : Черноморье, 2011. Вып. 1, т. 1. С. 45–48.

V. S. Vorobyev, O. A. Bender, E. A. Karelina, K. V. Katalymova

The Concept of Increasing the Maintenance Efficiency and Reconstruction of Highway Engineering Structures

Abstract. The technical condition of the country's highways in general and most of the Russian regions does not meet international standards, despite the efforts made, including the increase in budget financing for modernization, reconstruction and maintenance of highways.

For the system solution of the highway quality problem, the concept of a program for the reconstruction of engineering structures (REINSOR) is proposed, designed to increase the operational reliability of highway engineering structures to a level ensuring trouble-free operation with specified threshold parameters of operational decisions in the course of reconstruction and for the future. The strategy of planning the reconstruction of engineering structures in an emergency condition is considered, without mutual coordination of reliability and service life, as well as a planning strategy for reconstruction as a unified system with maintenance of the reliability required level and service life of structures. Operational and reconstructive strategies are justified. The program REINSOR and the basic scheme of its solution are offered. The basis of the REINSOR program is the theory of the project life cycle in relation to the problem of reconstruction. The investment cycle is allocated and studied in connection with the evaluation of the efficiency of the reconstruction project and its optimization at the stages of research and design. As a criterion of the REINSOR program efficiency (and optimization), the minimum investment cycle $\tau_{i,c}$ is adopted within the limits defined by the constraint system.

The example of the program implementation within the framework of public-private partnership on the modified model "Design, construction, financing, operation" is given. To optimize investment planning, the Pearl

feature is used, which allows you to assess the risks of project implementation. It is also used to assess the budget financing effectiveness of the Novosibirsk region highways.

Key words: *highways; reconstruction; engineering facilities; strategy; planning.*

Воробьев Валерий Степанович – доктор технических наук, профессор, декан факультета «Строительство железных дорог» СГУПС. E-mail: Vorobjev@stu.ru

Бендер Оксана Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» СГУПС. E-mail: O_Ben@mail.ru

Карелина Елена Алексеевна – аспирант кафедры «Технология, организация и экономика строительства» СГУПС. E-mail: karelinaelena23@mail.ru

Каталымова Ксения Валерьевна – кандидат технических наук, директор по правовой и кадровой работе ОАО «Новосибирскавтодор». E-mail: Katalymova@nskavd.ru