

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМИ АКТИВАМИ
(НА ПРИМЕРЕ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН)**

Д-р техн. наук, профессор **О.А. Красиков**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»),
канд. техн. наук, профессор **И.Н. Косенко**
(КазАДИ, Алматы)
Конт. информация: krasikov@rosdornii.ru

В статье представлен обзор существующих систем управления дорожными активами с выводами о сложностях их практического внедрения. Рассмотрена разработанная система управления дорожными активами для развивающихся стран, в частности для Республики Таджикистан. Система состоит из трех модулей: электронной карты дорог, автоматизированного банка дорожных данных, подсистемы планирования ремонтов. Созданная система с разработанной моделью операционной цепи позволяет решать вопросы планирования дорожно-ремонтных работ на сети дорог заданного региона при ограниченных ресурсах и обосновывать стратегию ремонтов на перспективу до 3 лет при различных сценариях финансирования. Система реализована на примере дорог Согдийской области Таджикистана с построением графиков изменения состояния дорог во времени в зависимости от объемов выполнения ремонтных работ при заданных вариантах финансирования. Даны укрупненные предложения к формированию дорожной карты внедрения системы.

Ключевые слова: дорожные активы, системы управления, развивающиеся страны, автоматизированный банк данных, электронная карта дорог, подсистема планирования ремонтов, модель операционной цепи, стратегия дорожно-ремонтных работ на перспективу до 3 лет, варианты финансирования, формирование дорожной карты по внедрению системы.

1 Краткий обзор существующих систем. Три важных вывода

Во всех странах мира дороги и инженерные сооружения на них рассматриваются как часть богатства государства, они представляют собой дорожные активы. Управление дорожными активами – управление сетью дорог страны – направлено на их сохранность, модернизацию, своевременную реабилитацию, содержание, ремонт и обновление посредством рентабельного планирования выделяемых на это ресурсов. Управление до-

рожными активами рассматривается не только с инженерной точки зрения, но и с точки зрения пользователя. Стоимость любого товара включает в себя транспортные расходы. Своевременная доставка грузов и пассажиров является важнейшей составляющей экономики страны.

Управление транспортно-эксплуатационным состоянием сети дорог (активами) предусматривает оптимизацию использования выделяемых ресурсов на совершенствование дорожной инфраструктуры с минимизацией транспортных расходов.

Методы и системы управления состоянием дорог формировались в 70-80 гг. XX века в развитых странах Западной Европы, США, Канаде и др. В СССР также проводились работы по созданию систем управления дорожным хозяйством на стадии эксплуатации дорог. Наибольших успехов в те годы добились Белоруссия, Россия, Украина, Казахстан. Известны «Комплексные системы управления качеством дорожно-ремонтных работ» (КСУК ДРР), «Комплексная система повышения эффективности производства и качества дорожно-ремонтных работ» и др. В системе управления дорожными активами основным является вопрос инвестиционной политики. Наиболее отработанной системой в этом направлении является модель HDM-IV¹ [1-3], разработанная Всемирным банком. Модель формировалась более тридцати лет для комплексной технической и экономической оценки дорожных проектов, разработки инвестиционных дорожных программ и анализа стратегий ремонта и развития дорожной сети.

Заслуживает внимания разработанная в Европе (Дания, ФРГ, Швеция и др.) система управления состоянием дорог и мостов RoSy PMS², BMS³. Система состоит из различных подсистем (модулей) [4,5], которые позволяют решать конкретные задачи.

В ФРГ разработана своя система менеджмента сохранения дорог [6]. Эта система предназначена для того, чтобы способствовать систематизации практики сохранения дорог, а также унификации этой практики во всей стране.

Известна Американская система управления состоянием дорог и мостов AASHTO [7,8], которая является аналогом HDM и включает значительный перечень решаемых инженерных задач, в том числе транспортных, таких как проезд большегрузных автомобилей с пересечением границ других государств и др.

¹ HDM – англ. Highway Development and Management Model – модель развития и управления состоянием автомобильных дорог.

² RoSy PMS – англ. Road Systems Pavement Management System – система управления состоянием дорожных одежд.

³ BMS – англ. Bridge Management System – система управления состоянием мостов.

Английская система управления состоянием дорог ROMAPS⁴ используется более чем в 15 странах [9]. Она является также аналогом HDM и PMS. В методологическом плане она включает в себя две основные подсистемы MMM⁵ и DBMS⁶. Система не только совместима с HDM, но и включает отдельные ее подпрограммы.

Система мониторинга и планирования ремонтных работ МАДИ разработана под руководством проф. А.П. Васильева [10]. В основу методики положены элементы системы диагностики автомобильных дорог [11]. Выходным параметром из системы является обеспечиваемая дорожной скоростью движения автомобиля с учетом влияния на нее состояния покрытия, обочин, интенсивности движения, прочности одежды и др. Существенным отличием системы являются показатели обеспечения расчетной скорости по наиболее важным параметрам дорог с использованием их при определении транспортных расходов.

Известна система мониторинга автомобильных дорог Республики Казахстан «СМАД», которая формировалась, начиная с 1992 г. [12]. Система СМАД включает в себя два этапа планирования дорожно-ремонтных работ – текущее и перспективное, которые отличаются лишь тем, что во втором случае рассматривается прогноз изменения транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия по годам службы с учетом ежегодно выполняемых ремонтных работ на перспективу 3-5 лет.

Анализ рассмотренных выше и других систем мониторинга и управления состоянием дорог и дорожными активами позволяет выделить общие функциональные действия в решении этих вопросов:

- создание базы (банка) данных о состоянии дорог и мостов;
- исследовательские работы по обследованию дорог, их диагностика;
- планирование и программирование;
- технико-экономическое обоснование работ по строительству, ремонту, реабилитации, реконструкции, содержанию дорог, а также сервису и безопасности движения;
- обоснование приоритетов при назначении ремонтных работ;
- выбор оптимальной стратегии ремонта и содержания;
- технический и экономический анализ изменения состояния дорог во времени и прогнозирование.

⁴ ROMAPS – англ. Roughton International's Maintenance Planning System – система планирования содержания дорог, разработанная компанией Roughton International.

⁵ MMM – англ. Maintenance Management Methodology – методология управления содержанием дорог.

⁶ DBMS – англ. Database Management System – система управления базами данных.

При мониторинге автомобильных дорог и формировании банка данных используются типичные для всех систем показатели:

- общие сведения о дороге (год строительства, ремонтов, протяженность, категория, вид покрытия и т.п.);
- ровность дорожных покрытий и прочность дорожных одежд;
- визуальная оценка состояния и геометрические параметры дороги;
- обстановка пути, интенсивность и состав движения транспорта;
- оценка инженерных сооружений и безопасности движения;
- климатические особенности региона и нормативные требования к дороге и др.

Реализация всех вышеописанных систем позволила сделать *три важных вывода*.

***Первый важный вывод:** стремясь к совершенству системы и пытаясь учесть как можно больше факторов, мы усложняем возможность ее реализации, так как для этого нужно значительное по объему информационное обеспечение, которое нуждается в постоянном обновлении.* То есть, чем больше параметров мы учитываем в системе, тем больше их нужно каждый год обновлять в банке данных, на что необходимы немалые средства. Отсюда следует, что система должна работать при ограниченном информационном обеспечении, но вместе с тем достаточно для получения объективных результатов с заданной надежностью решения практических задач.

***Второй важный вывод,** который также следует из результатов реализации вышеназванных систем в разных странах, заключается в том, что конкретная страна должна быть готова по своему экономическому развитию адекватно воспринимать разработанную и внедряемую систему управления дорожными активами.* Здесь важно отметить, что для реализации любой системы необходимы информационная база данных, соответствующая разработанной системе, а также условия ее формирования и обновления. Отсутствие или старение информации делает систему управления дорожными активами бесполезной, а деньги на ее создание и внедрение становятся напрасно истраченными с отрицательным экономическим эффектом. То есть страна должна быть готова обеспечить систему информацией и постоянно, систематически обновлять ее.

***Третий важный вывод** заключается в том, что каждая страна стремится создать свою систему, которая бы учитывала ее уровень достижений, экономические особенности развития страны, в том числе, сбалансированность работы предприятий, занятых в дорожном строительстве, региональные климатические, технологические и другие особенности.*

Изложенные три важных вывода нередко объясняют причины несостоятельности внедрения этих систем в отдельных развивающихся странах, где все начинания сводятся к нулю после того, как специалисты, участвующие в формировании и внедрении системы, покидают эту страну, а обученные ими специалисты не в состоянии самостоятельно работать, да еще с устаревшей, не обновляемой информацией.

Таким образом, в развивающихся странах, где по указанным причинам внедрение разработанных систем затруднено, необходимо на первой стадии внедрять адекватную, упрощенную модель системы управления дорожными активами, которая в дальнейшем могла бы быть поэтапно усовершенствована. Ниже представлена модель системы наиболее упрощенного типа на начальной стадии с рекомендациями поэтапного ее внедрения, в частности, в дорожной отрасли Республики Таджикистан, где практически отсутствует информационная база данных о транспортно-эксплуатационном состоянии дорог и не налажена работа по их диагностике.

2 Формирование целевого функционала и обоснование структуры системы

Для разработки структуры Системы управления дорожными активами можно воспользоваться общепринятым целевым принципом [12,13], суть которого заключается в формировании главного целевого функционала с последующей его дифференциацией на целевые подфункционалы и детализацией на конкретные задачи.

Главный целевой функционал представляет собой формулирование главной цели Системы управления дорожными активами (СУДА), который применительно к дорогам может быть представлен следующим образом.

Главной целью системы СУДА является организация действенного механизма, позволяющего выработать экономически рациональную стратегию ремонта и содержания автомобильных дорог на текущий период и на перспективу до 3-5 лет при различных сценариях ежегодного финансирования.

Главная цель может быть дифференцирована на основные цели, которым соответствуют следующие модули (подсистемы):

- модуль 1 – электронная карта дорог (ЭКД);
- модуль 2 – автоматизированный банк данных (АБД) об эксплуатационном состоянии дорог и мостов;
- модуль 3 – подсистема планирования ремонтов (ППР).

Укрупненная структура СУДА может быть представлена в виде функционально замкнутого круга (**рис. 1**).

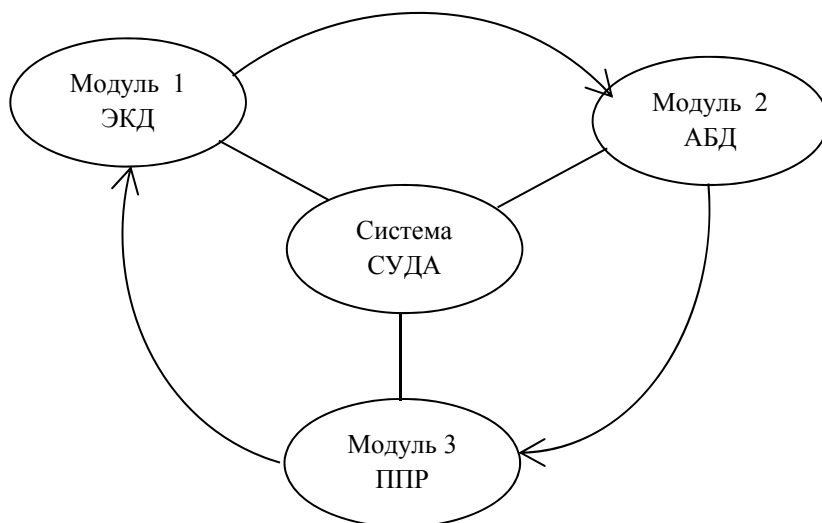


Рис. 1. Укрупненная структура системы управления дорожными активами (СУДА):

модуль 1 – электронная карта дорог;

модуль 2 – автоматизированный банк данных;

модуль 3 – подсистема планирования ремонтов

В данном случае, применительно к дорожной отрасли Республики Таджикистан, система на начальном этапе должна решать следующие практические задачи:

- представлять необходимую информацию о дорогах и мостах по запросу;
- определять «узкие» места на дорогах (концентрацию ДТП);
- определять первоочередную необходимость выполнения ремонтов (адреса, вид ремонта, стоимость);
- определять экономически рациональную стратегию выполнения ремонтов дорог и мостов, обеспечивающую максимальную эффективность использования денежных средств с указанием очередности, видов работ и их стоимости.

В результате должны быть получены ответы на следующие вопросы:

- Где, в какой очередности, какие и с какой стоимостью ремонтные работы необходимо выполнить в пределах отведенных денежных средств? Насколько при этом, повысится транспортно-эксплуатационное состояние сети дорог, отдельной дороги, участка?
- Сколько требуется денежных средств для выполнения полного перечня ремонтных работ, необходимых для доведения эксплуатационного состояния до заданных нормативных требований, с указанием где, в какой последовательности, какие и с какой стоимостью работы необходимо произвести?
- Как изменится состояние дорог при различных сценариях финансирования, в том числе с прогнозом на 3 года?

3 Модуль 1. Электронная карта дорог

Электронная карта дорог должна иметь 12 слоев, каждый из которых акцентирует внимание на конкретную информацию, в том числе на дороги и мосты.

В слое «Дороги по значению и категориям» должна быть полная информация по запросам:

- 1) расположение дорог и мостов с названиями;
- 2) выделенные разным цветом дороги в зависимости от категории;
- 3) выделенные разным цветом районы и области с названиями;
- 4) выделенные разным цветом мосты, путепроводы и тоннели;
- 5) основные направления выхода на сеть международных и внегородских дорог с названиями;
- 6) список дорог по запросу с возможным выходом на детальную информацию;
- 7) список мостов по запросу с возможным выходом на детальную информацию;
- 8) объекты АЗС, СТО. Объекты ориентации (крупные гражданские и промышленные сооружения, наиболее известные архитектурные сооружения и памятники и др.);
- 9) аэропорты;
- 10) железные дороги, вокзалы;
- 11) развязки в разных уровнях;
- 12) автобусные вокзалы междугороднего сообщения;
- 13) снимок со спутника для использования в качестве фона (подложки) векторной карты.

Электронная карта дорог должна быть увязана с автоматизированным банком данных, что достигается возможностью запроса на кар-

те с выходом на формы представления информации (например, протяженность дороги, геометрические параметры, фотоснимок дороги и т.д.).

Создание модуля *I* требует учета его работы во взаимосвязи с другими модулями.

4 Модуль 2. Автоматизированный банк данных

В общем случае под автоматизированным банком данных (АБД) следует понимать систему накопления, хранения и поиска информации, а также обработки и управления информацией для решения различных инженерных задач.

На первой стадии формирования автоматизированный банк данных ограничивается 15-ю формами представления информации, в которых отражаются наиболее важные сведения о дорогах и мостах.

В этом случае должна быть отработана методика сбора информации и выполнения полевых работ по оценке транспортно-эксплуатационного состояния дорог и мостов.

На первом этапе формирования системы предусмотрена инструментальная оценка ровности покрытий и визуальная оценка состояния дороги по наличию деформаций и разрушений.

Алгоритмом автоматизированного банка данных предусмотрено решение частных простых задач с запросом информации о следующем:

- 1) местах и количестве ДТП;
- 2) мостах, путепроводах, тоннелях;
- 3) водопропускных трубах.
- 4) автобусных остановках, стоянках, АЗС;
- 5) прочности дорожных одежд;
- 6) общих сведениях о дорогах;
- 7) состоянии дорожной одежды и дорожного покрытия, ровности и сцепных качествах;
- 8) линейном графике изменений параметров геометрических элементов в плане и продольного профиля;
- 9) интенсивности движения;
- 10) выполненных ремонтных работах;
- 11) нормативах на дороги и мосты.

5 Модуль 3. Подсистема планирования ремонтных работ на сети дорог

Для разработки алгоритма подсистемы сформулирована следующая постановка задачи. В условиях ограниченных денежных средств, выделяемых в республике на дорожно-ремонтные работы, необходимо установить экономически рациональную стратегию совершенствования технического состояния сети дорог, обеспечивающую максимально возможный экономический результат от вложенных денежных средств.

В результате решения задачи должны быть получены ответы на вопросы, сформулированные в *разделе 2*.

Исходными данными для решения задачи являются результаты диагностики сети дорог, представленные в банке данных. Методика решения задачи должна обеспечивать возможность ее реализации на уровне сети дорог заданного региона или заданного перечня дорог. Исходя из формулировки задачи, очевидна следующая последовательность ее решения:

- анализ банка данных и результатов диагностики сети дорог с обоснованием и назначением ремонтных работ, расчет стоимости ремонтов;
- выделение приоритетных участков на основе логических критериев и практического опыта планирования работ с определением денежных средств. На данном этапе по результатам анализа банка данных определяются аварийно-опасные места, места концентрации ДТП и т.п., с выделением их в приоритетные без дополнительных обоснований. Определяется стоимость намеченных ремонтных работ и полученная сумма вычитается из выделенных в текущем году денежных средств. Кроме того, в оставшуюся сумму средств не входят расходы на содержание дорог, на ремонт архитектурных памятников, автобусных остановок, мостов и путепроводов, стоянок и т.п. То есть речь идет только о ремонте дорожной одежды и дорожного покрытия (в дальнейшем могут быть включены работы по уширению, по исправлению параметров геометрических элементов продольного профиля и др.);
- обоснование приоритетов и ранжирование дорог с использованием экономических критериев. На этом этапе определяется среднегодовая дисконтированная экономия на текущих дорожных и транспортных расходах с сопоставлением их до ремонта и после ремонта. Затем определяются показатели экономической эффективности, по которым выполняют ранжирование дорог;

- суммирование единовременных затрат на ремонты по ранжированному ряду до ограниченной суммы и определение полной суммы для приведения сети дорог до требуемого состояния;
- выработка стратегии ремонтов на текущий год. На этом этапе должны быть получены ответы на вопросы, сформулированные выше;
- выработка стратегии ремонтов на перспективу 3-5 лет с учетом выполнения ремонтов на ограниченную сумму в первом и последующих годах.

Данный этап включает в себя решение задачи по прогнозированию транспортно-эксплуатационного состояния дорог во времени.

В соответствии с вышеизложенным, на **рис. 2** представлена структурная модель решения задачи.

5.1 Обоснование модели операционной цепи

Транспортно-эксплуатационное состояние дороги должно оцениваться минимальным количеством показателей, но вместе с тем достаточным для решения поставленных задач. Это следует из выводов, представленных в *разделе 1*, и обусловлено требованиями избыточности информации.

На данном этапе решения задачи транспортно-эксплуатационное состояние проезжей части дороги (экономического перегона) определяется следующими показателями, согласно банку данных:

- 1) типом дорожного покрытия (капитальный, облегченный, переходный);
- 2) ровностью дорожного покрытия (оценка и показатель по шкале IRI⁷);
- 3) визуальной оценкой состояния дорожной одежды и дорожного покрытия дороги (по шкале Союздорнии [20] – I/1;I/2;I/3;I/4;I-II;II;III,);
- 4) интенсивностью движения.

Дополнительной информацией для решения задачи являются:

- 1) категория дороги;
- 2) число полос движения и ширина полосы;
- 3) длина экономического перегона или участка дороги.

⁷ IRI – англ. International Roughness Index – Международный индекс ровности.

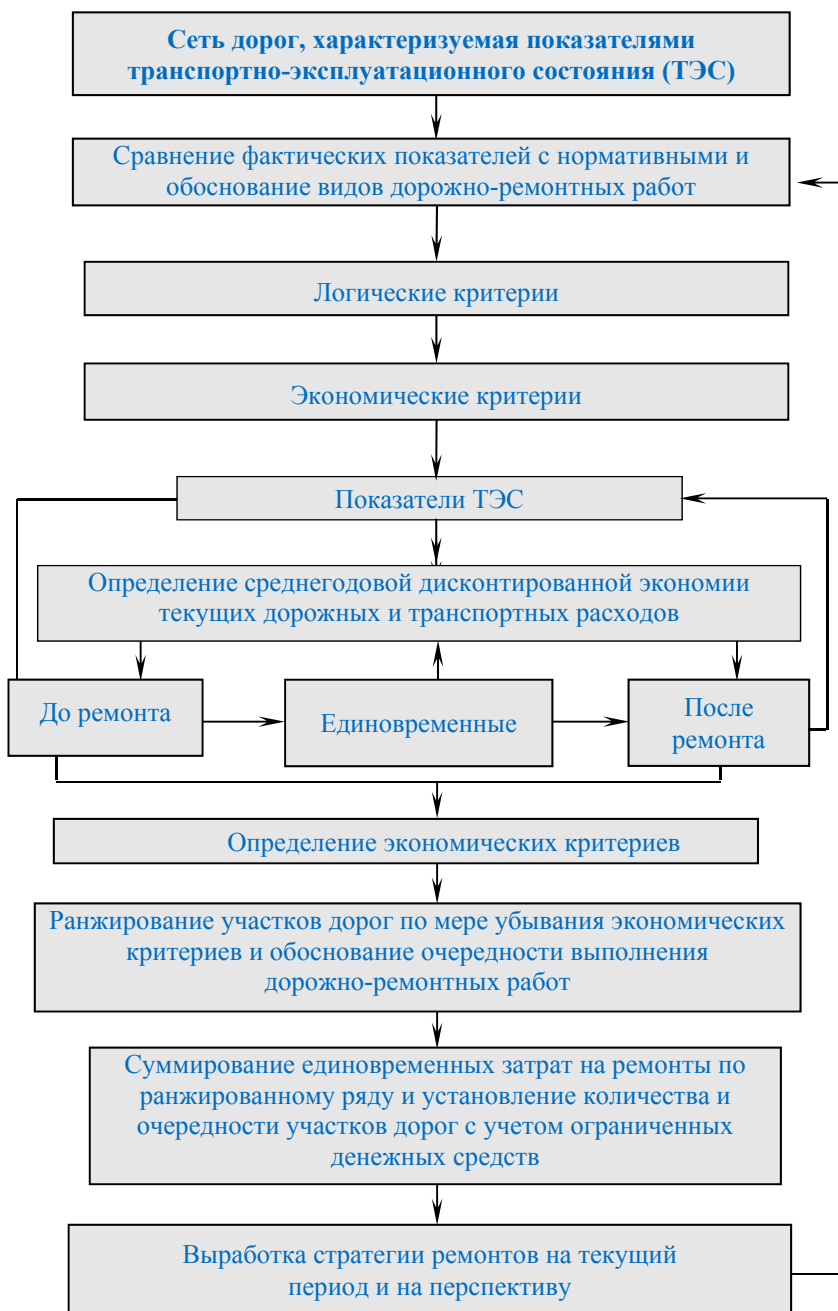


Рис. 2. Структурная модель решения задачи по планированию дорожно-ремонтных работ при ограниченных ресурсах

Постановка задачи включает в себя планирование дорожно-ремонтных работ по экономическим перегонам дороги в объеме ремонта (среднего) и капитального ремонта дорожных одежд нежесткого типа.

Техническое состояние каждого перегона на данном этапе разработки подсистемы планирования ремонтов оценивается двумя показателями⁸:

- ровностью дорожного покрытия показатель IRI;
- визуальная оценка состояния дорожной одежды и дорожного покрытия – $B_{из}$.

Ровность дорожного покрытия является критерием назначения (среднего) ремонта (восстановление эксплуатационных качеств), то же – визуальная оценка состояния дорожного покрытия (оценки в баллах – I/1;I/2;I/3;I/4;I-II). Критерием назначения капитального ремонта является визуальная оценка прочности дорожной одежды (оценки в баллах II и III, в отдельных случаях – I-II).

В качестве критерия для определения эффективности и очередности выполнения дорожно-ремонтных работ в международной практике используют:

- чистый дисконтированный доход (NPV – англ. Net present value);
- индекс доходности (PI – англ. profitability index).

Аналогом PI является ранее широко используемый коэффициент экономической эффективности (E). Аналогом NPV являются суммарные дисконтированные затраты, которые были использованы в Казахстанской системе планирования дорожно-ремонтных работ [12]. Анализ ранее разработанного алгоритма, оценка чувствительности факторов позволили авторам работ [12,13] обосновать упрощенный критерий для решения задачи планирования ремонтов, который предлагается использовать в настоящем алгоритме:

$$E_y = \frac{\beta * N_1 * q^{(t-1)/2} * \Delta T_{эс} * L}{K * t * T_{эсф} * T_{эсп}}, \quad (1)$$

⁸ В дальнейшем количество показателей может быть увеличено (прочность дорожной одежды, колейность, шероховатость и др).

где

E_y – упрощенный коэффициент экономической эффективности (аналог индекса доходности);

N_I – существующая в первый год эксплуатации интенсивность движения транспорта, авт./сут.;

q – коэффициент изменения интенсивности движения за межремонтный срок службы t ;

K – единовременные затраты на ремонт, дол. США;

$T_{эф}$ и $T_{сп}$ – показатель эксплуатационного состояния дороги соответственно до ремонта (фактический) и после ремонта;

$\Delta T_{ср} = T_{сп} - T_{эф}$;

L – длина участка (перегона), м;

β – параметр уравнения: $\beta=0,287$ – для проезжей части дорог и $0,139$ – для тротуаров (будет учитываться и уточняться при дальнейшем совершенствовании алгоритма).

Для сети автомобильных дорог можно получить вектор-строку, состоящую из значений критерия E_y по мере убывания, что определяет очередность выполнения ремонтов:

$$\{E_{y_j}\} = (E_{y_1}, E_{y_2} \dots E_{y_j} \dots E_{y_n}) . \quad (2)$$

Для каждого намеченного ремонта дороги (перегона) определяются единовременные затраты K_j , которые соответствуют ранжированному ряду вектора-строки (2):

$$\{K_j\} = (K_1, K_2 \dots K_j \dots K_n) . \quad (3)$$

Просуммировав затраты из матрицы (3), можно определить требуемые финансовые ресурсы, обеспечивающие полное выполнение необходимых ремонтных работ на всей рассматриваемой сети дорог.

В случае ограниченных денежных средств (как это фактически бывает), приоритетные дороги (перегоны) определяются по максимальным значениям критерия E_y из матрицы (2), общая стоимость ремонтных работ на которых не превышает выделенных ассигнований.

Уравнения (1-3) составляют модель операционной цепи для выработки стратегии выполнения дорожно-ремонтных работ на заданной

сети дорог с учетом ограниченных ресурсов. Для определения составляющих представленного критерия (1) необходимо разработать экономико-математическую модель, функционалом которой будет являться упрощенный коэффициент экономической эффективности. Особенности алгоритма, как аналога для сети внегородских дорог, представлены в работах [13,14].

Ниже кратко рассмотрена структура параметров модели с описанием связей между ними и представлен алгоритм решения задачи.

5.2 Обоснование структуры параметров модели. Алгоритм решения задачи

Структурная схема алгоритма подсистемы планирования ремонтов на дорогах представлена на **рис. 3**. Последовательность функционирования алгоритма включает в себя 12 этапов.

На этапе 1 выполняется опрос банка данных и оценка эксплуатационного состояния дорог на текущий год t_1 .

На этапе 2 в результате сопоставления эксплуатационного состояния дорог с нормативными требованиями определяются участки дорог, где необходимо выполнить ремонтные работы. Назначаются ремонты (капитальный или средний).

На этапе 3 выполняется определение единовременных затрат на назначенные ремонты.

На этапе 4 определяются критерии эффективности ремонтов по формуле (1).

На этапе 5 выполняется ранжирование участков дорог по критерию эффективности ремонтов согласно вектору-строке (2), что определяет очередность выполнения ремонтных работ.

На этапе 6 определяется вектор-строка (3), затем выполняется суммирование единовременных затрат с определением границы ранжированного ряда по ограниченным ресурсам. В результате формируется план дорожно-ремонтных работ на следующий год t_2 : определяются объемы и адреса ремонтных работ с учетом ограниченных ресурсов, виды ремонтов и их стоимость.

На этапе 7 выполняется абстрагирование на изменение эксплуатационного состояния дорог после ремонтных работ. При этом динамика изменения состояния определяется по схеме, представленной на **рис. 4**. Эксплуатационное состояние в момент t_1 характеризуется протяженностью «хороших» и «плохих» дорог. В момент t_2 часть «плохих» дорог будет отремонтирована, и они станут «хорошими». Другая часть «плохих» дорог, на ремонт которых не хватит денег, станет еще хуже. Также в момент t_2 часть «хороших» дорог станет «плохой», а другая часть останется «хорошей». Таким образом, в момент t_2 сформируется новое эксплуатационное состояние из «хороших» и «плохих» дорог (**рис. 4**).

На этапе 8 предусматривается выполнение этапов 1...6 применительно для эксплуатационного состояния в момент t_2 , на основе чего составляется план дорожно-ремонтных работ на третий год t_3 .

На этапе 9 выполняется абстрагирование на изменение эксплуатационного состояния дорог после ремонтных работ в году t_3 по аналогии с седьмым этапом.

На этапе 10 выполняется повторение этапов 1...6 применительно к новому эксплуатационному состоянию дорог и составление плана дорожно-ремонтных работ на год t_4 .

На этапе 11 выполняется абстрагирование на год t_4 по аналогии с этапом 7.

На этапе 12 строятся графики изменения состояния дорог по годам прогнозирования в зависимости от сценария ежегодного финансирования. Этим же этапом предусматривается выбор наиболее рациональной стратегии дорожно-ремонтных работ с соответствующим сценарием финансирования.

Упрощенный критерий **(1)** представлен в модели операционной цепи функцией следующих параметров: N_l , q , t , K , $T_{эф}$, $T_{эсп}$. В зависимости от сценариев финансирования ремонтных работ будет изменяться эксплуатационное состояние сети дорог. Поэтому рассмотренная структурная схема алгоритма представляет собой вариационную задачу. Структура параметров алгоритма с описанием математических связей рассмотрена в работах авторов [12-14] и в отчетах по выполнению работы в Республике Таджикистан в рамках задания Всемирного банка [15-19].

МОДУЛЬ 3
Подсистема планирования ремонтов на дорогах

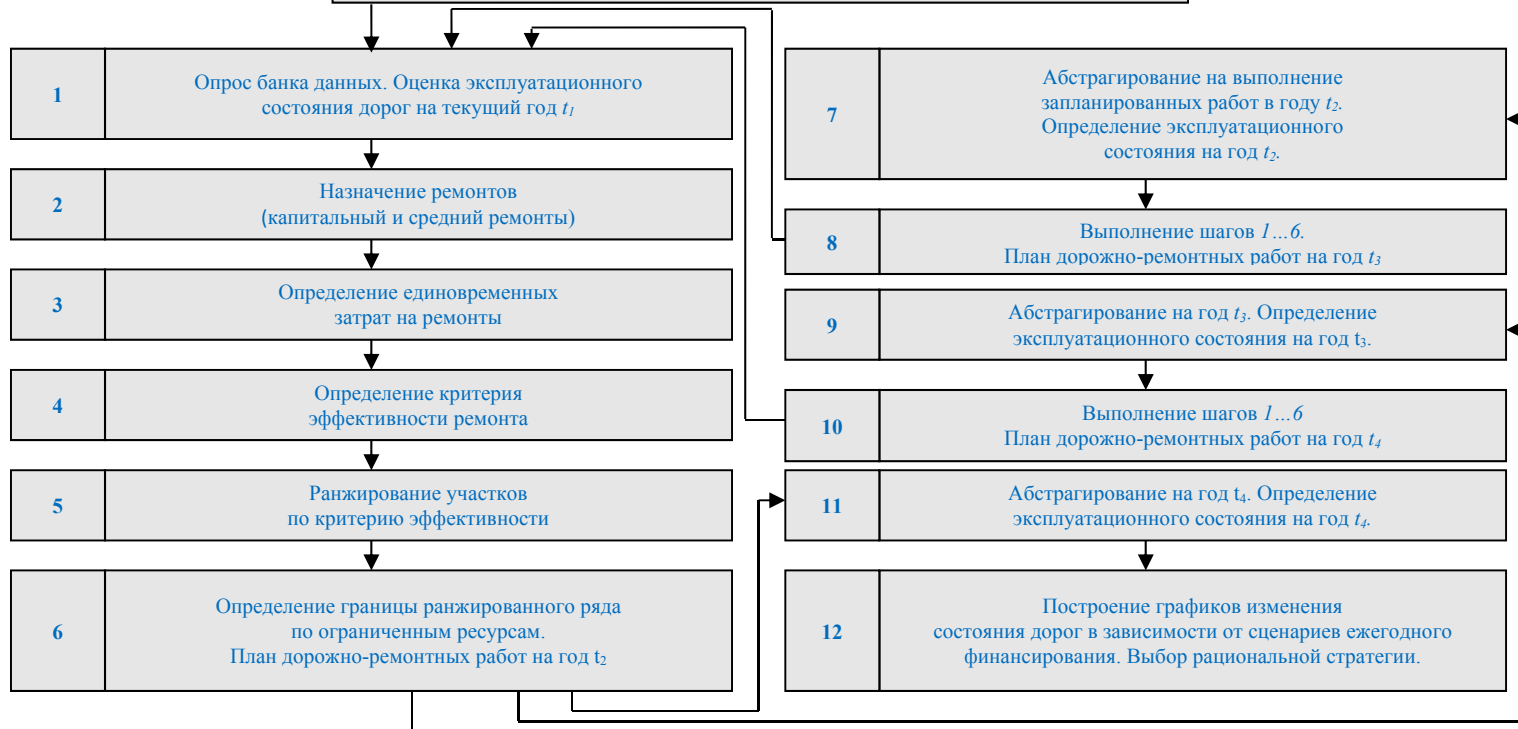


Рис. 3. Структурная схема алгоритма подсистемы планирования ремонтов на дорогах

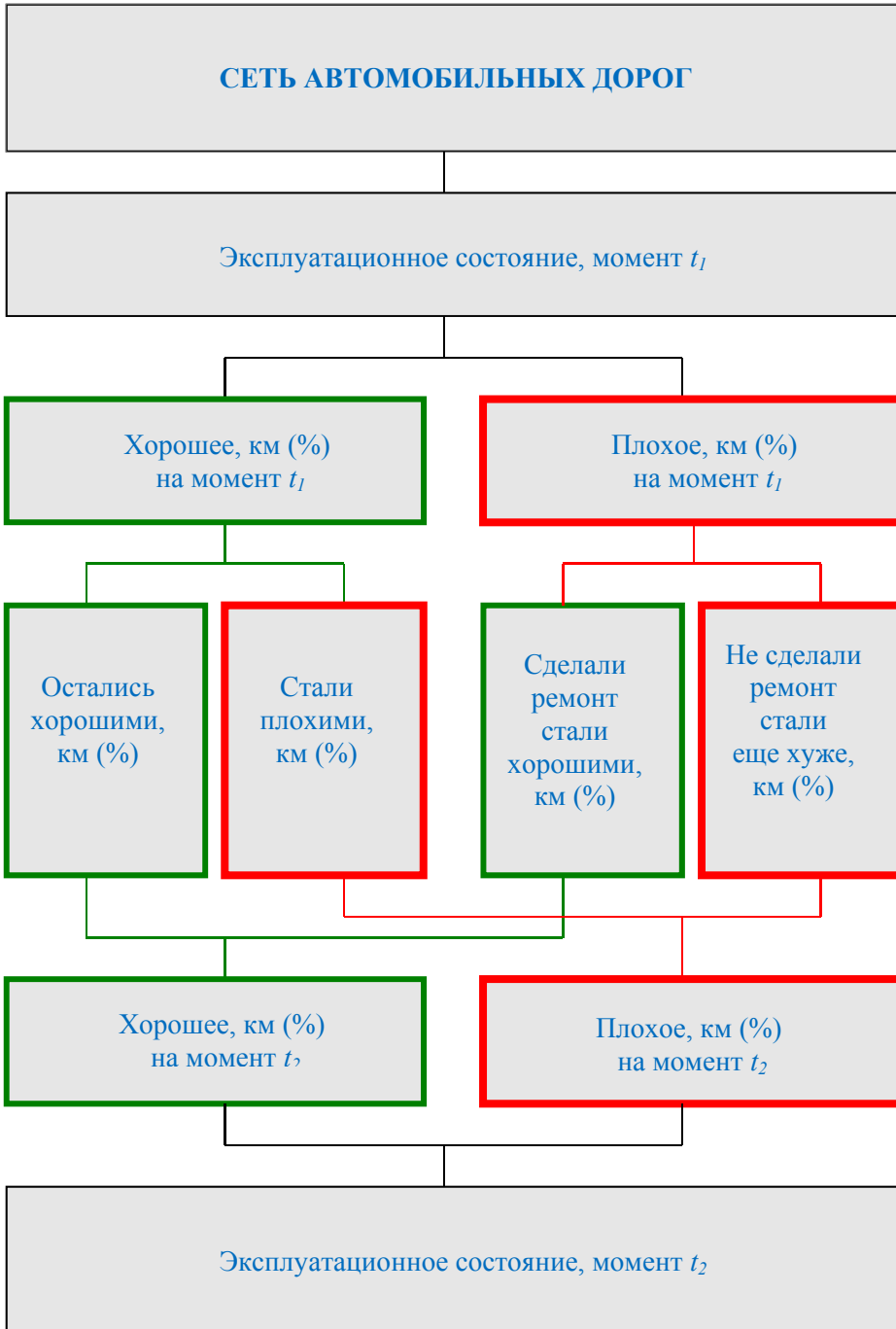


Рис. 4. Динамика изменения эксплуатационного состояния дорог (структурная модель антропогенных изменений)

5.3 Реализация алгоритма на примере сети дорог Согдийской области Республики Таджикистан с обоснованием стратегии дорожно-ремонтных работ на 3 года

Исходными данными является информация по обследованию значительной части дорог Согдийской области.

Общая сеть дорог области без учета платного проезда (272,2 км) составляет 3185,6 км, в том числе:

- международные дороги – 459,8 км;
- республиканские дороги – 413,8 км;
- местные дороги – 2312 км.

Применительно к международной сети дорог было обследовано 278 км, что составляет более 60% по протяженности и является достаточно репрезентативной выборкой. При обследовании была выполнена визуальная оценка состояния дорожного покрытия и обочин, визуальная оценка прочности одежды по шкале Союздорнии [20], учет интенсивности движения транспорта, промер конструктивных слоев по результатам вскрытия дорожной одежды. Протяженность дорог в удовлетворительном состоянии составляет всего лишь 2,9%. Остальная часть обследованных дорог находится в неудовлетворительном состоянии (49% в разрушенном состоянии).

На **рис. 5** представлены пять вариантов реализации разработанного алгоритма с прогнозированием изменения протяженности обследованных международных дорог.

Исходным состоянием обследованных международных дорог является протяженность 2,9% дорог в удовлетворительном состоянии по данным за 2016 г. По каждому из пяти вариантов финансирования (**рис. 5**) указаны ежегодные выделенные средства на ремонтные работы и общая сумма за 3-х летний период (2017-2019 гг).

Полученные 5 вариантов стратегии ремонта обследованных международных дорог при различных сценариях финансирования позволяют выбрать тот вариант, который может быть реально обеспечен возможным финансированием на данный момент времени. Очевидно, что наиболее радикальным вариантом стратегии ремонтов является *вариант 1*, которым предусмотрено полное выделение необходимых средств в течение 3-х лет для ремонта всех соответствующих участков дорог (**рис. 5, табл. 1**). Вместе с тем, за 3 года состояние отдельных участков (общей протяженностью 8 км), ухудшилось и из разряда «удовлетворительное» перешло в разряд «неудовлетворительное». Поэтому в 2019 г. состояние обследованной сети дорог оценивается как удовлетворительное не на 100%, а на 97,1%.

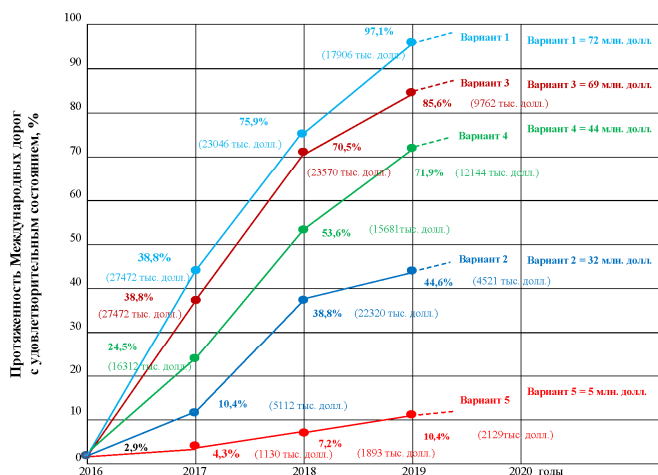


Рис. 5. Изменение протяженности обследованных международных дорог в удовлетворительном состоянии в зависимости от объемов выполнения ремонтных работ при заданных вариантах финансирования:

- вариант 1 – общая сумма финансирования – 71 945 тыс. долл. США;
- вариант 2 – общая сумма финансирования – 31 953 тыс. долл. США;
- вариант 3 – общая сумма финансирования – 68 804 тыс. долл. США;
- вариант 4 – общая сумма финансирования – 44 137 тыс. долл. США;
- вариант 5 – общая сумма финансирования – 5152 тыс. долл. США

Вариант 5 является наименее эффективным, так как на все три года выделена минимальная сумма – 5112 тыс. долл. США, и улучшение состояния сети дорог за 3 года составило всего около 7% (с 2,9 % до 10,4%), что явно недостаточно для дорог международного значения с целью повышения привлекательности этой категории дорог в Республике Таджикистан для транзитного движения из других стран.

Другие варианты (3, 4, 2, табл. 1, рис. 5) являются промежуточными и могут служить ориентирами для соответствующих сценариев финансирования.

По репрезентативной выборке обследованных международных дорог, согласно теории вероятности и математической статистике, полученные выводы по стратегии выполнения ремонтных работ с высокой степенью вероятности можно распространить на всю сеть международных дорог Согдийской области Республики Таджикистан. На этой основе будем полагать, что вся сеть международных дорог Согдийской области общей протяженностью 459,8 км имеет следующее эксплуатационное состояние:

- удовлетворительное состояние – 13,3 км (2,9%);
- неудовлетворительное состояние – 446,5 км (97,1%), требующих ремонтных работ с тем же процентным распределением, что получено по обследованной выборке дорог.

Таблица 1

Сводная информация по разработанным вариантам стратегии ремонтов обследованных дорог международного значения Согдийской области

Вариант стратегии ремонтов	Финансирование, тыс. долл. США	Ремонты за три года		Протяженность дорог в удовлетворительном состоянии, % по годам			
		Кол-во участков	Общая протяженность, км	2016	2017	2018	2019
<i>1</i>	71 945	10	270	2,9	44,6	75,9	97,1
<i>3</i>	68 804	7	230	2,9	38,8	70,5	85,6
<i>4</i>	44137	5,5	167	2,9	24,5	53,6	71,9
<i>2</i>	31 953	4	116	2,9	10,4	38,8	44,6
<i>5</i>	5152	2	21	2,9	4,3	7,2	10,4

Исходя из этого, если по обследованным международным дорогам мы имеем 5 вариантов стратегии ремонтов, то для всей сети международных дорог примем аналоги стратегий по трем вариантам: *1*, *4* и *2* (табл. 1). Это будет соответствовать информации применительно для всей сети международных дорог Согдийской области, представленной в табл. 2.

Предлагаемые варианты стратегии ремонта международных дорог Согдийской области исходят из возможных сценариев финансирования:

- вариант *1* (лучший) – 116 332 тыс. долл. США на 3 года, результат – 97,1 % дорог в удовлетворительном состоянии;
- вариант *2* (средний) – 51 755 тыс. долл. США на 3 года, результат – 44,6 % дорог в удовлетворительном состоянии;
- вариант *3* (худший) – 8345 тыс. долл. США на 3 года, результат – 10,4 % дорог в удовлетворительном состоянии.

Таблица 2

*Предлагаемые стратегии ремонтов международных дорог
Согдийской области Республики Таджикистан*

<i>Варианты стратегии</i>	<i>Протяженность дорог, км</i>			<i>Стоимость ремонтов, тыс. долл. США</i>			<i>Прогноз протяженности дорог в удовлетворительном состоянии, % по годам</i>			
	<i>Общая</i>	<i>КР</i>	<i>СР</i>	<i>КР</i>	<i>СР</i>	<i>КР+СР</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>
<i>1</i>	459,8	405	41,4	109304	7228	116532	2,9	44,6	75,9	97,1
<i>2</i>	459,8	180	12	48545	3210	51755	2,9	10,4	38,8	44,6
<i>3</i>	459,8	35	-	8345	-	8345	2,9	4,3	7,2	10,4

Примечание: КР – капитальный ремонт; СР – средний ремонт.

Предлагаемые стратегии предусматривают лишь ремонт дорожных одежд и покрытий на сети дорог международного значения без учета необходимости ремонта искусственных сооружений (мостов, труб и др.).

На **рис. 6** для наглядности представлены предлагаемые варианты стратегии ремонта дорог международного значения. Выбор варианта – задача руководителей дорожной отрасли, которые могут использовать предлагаемые стратегии для обоснования денежных средств, необходимых для получения желаемых и адекватных возможностям результатов.

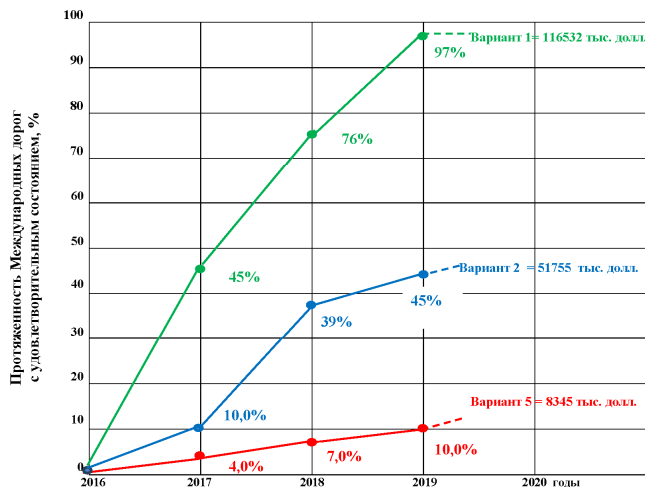


Рис. 6. Предлагаемые варианты ремонтов международных дорог Согдийской области Республики Таджикистан:
 вариант 1 – ремонт 446,4 км дорог за три года;
 вариант 2 – ремонт 192 км дорог за три года;
 вариант 3 – ремонт 35 км дорог за три года

По представленным данным об эксплуатационном состоянии дорог республиканского и местного значения можно выполнить реализацию разработанного алгоритма планирования дорожно-ремонтных работ и получить аналогичные результаты по вариантам стратегии ремонтов, как это выполнено для дорог международного значения.

5.4 Укрупненные предложения к формированию дорожной карты внедрения системы СУДА

Для формирования дорожной карты внедрения системы СУДА в дорожной отрасли Республики Таджикистан необходимо определить состояние проблемы в начальный период (*отправной пункт*) и обозна-

читать результаты ее решения в намеченный, конечный период (*конечный пункт*). Дорожной картой должны определяться пути решения проблемы и формулироваться частные задачи на этом пути.

Состояние проблемы может быть достаточно полно сформулировано, если принять как факт отсутствие систематизированной базы данных о транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильных дорог Республики Таджикистан. При отсутствии информации любая система, в том числе система СУДА, не может быть реализована и быть полезной в решении задач дорожной отрасли.

Таким образом, с учетом наличия в разработанной системе СУДА трех модулей (ЭКД, АБД, ППР) в первую очередь необходимо создать модуль АБД, вместе с тем сформировать модуль ЭКД и параллельно модуль ППР.

То есть работа должна выполняться последовательно и параллельно. Кроме того, необходимо сразу же в структуре Министерства транспорта уделить внимание созданию подразделения «Диагностика автомобильных дорог и управления дорожными активами», которое в дальнейшем должно заниматься всем перечнем проблем по дорожной карте внедрения системы СУДА.

Необходимо предусмотреть разработку программы обучения сотрудников, которая должна базироваться на адекватной информативности. Полезно разработать учебное пособие по утвержденной программе.

При создании программного комплекса и Руководства пользователю системы СУДА необходимо учесть:

- системные требования;
- возможность ввода и обновления информации;
- возможность совместного функционирования трех модулей;
- справочные данные по требованиям к автомобильным дорогам;
- возможность масштабирования и управления отображением информационных слоев карты автомобильных дорог;
- возможность поиска объектов на карте, печати, в том числе, выборочных объектов и др.

В дальнейшем необходимо уделить должное внимание изложенным выше рекомендациям.

Для реализации разработанного алгоритма требуется выполнить работы по созданию соответствующего программного комплекса.

Но самое главное – это информация о состоянии автомобильных дорог и мостов, сформированная в автоматизированном банке данных, которая лежит в основе функционирования всей системы СУДА!

Без исходной информации любая система не работоспособна!

6 Заключение

В настоящей статье представлена информация о том, как в передовых странах мира разрабатываются и внедряются системы управления дорожными активами СУДА, как аналоги систем внедряются в развивающихся странах и какие проблемы в этих странах возникают при решении задач внедрения системы.

Отмечены особенности внедрения системы в развивающихся странах, сделаны три важных вывода о сложностях внедрения систем.

Представлена разработанная система СУДА для развивающихся стран, в частности, для дорожной отрасли Республики Таджикистан, которая может быть использована и в других странах.

На основе результатов обследования части дорог Согдийской области Республики Таджикистан выполнена реализация разработанного фрагмента системы СУДА применительно к сети дорог международного значения.

Основной вывод по внедрению системы СУДА заключается в следующем:

- страна должна быть готова по своему экономическому развитию к внедрению системы СУДА с соответствующим информационным обеспечением и возможностью его постоянного обновления;
- система СУДА может быть эффективно реализована только при адекватном информационном обеспечении.

ЛИТЕРАТУРА

1. *НДМ-4. Highway Development and Management. Обзор НДМ-4. Том 1. Серия «Развитие и управление дорогами» / World Road Association (PIARC). – 2004. – 45 с.*
2. *НДМ-4. Развитие и управление дорогами. Руководство пользователя. Том 3. Серия «Проектирование и содержание дорог» / World Road Association (PIARC). – 2004. – 177 с.*
3. *Рекомендации по адаптации исходных данных в модели НДМ-4 к Российским условиям / Минтранс РФ, Росавтодор. – М., 2004. – 17 с.*
4. *Rosy PMS. Training Programme / Phonix Pavement Consultants. – 1998. – 24 с.*
5. *Rosy Road Systems. PBS/BMS / Phonix Pavement Consultants. – 1996.*

6. *Автомобильные дороги Германии / Федеральное министерство транспорта Германии [Bundesministerium für Verkehr (BMV)]. – Bonn. – 1995.*
7. *Kane A.R., Aldayuz J.L. A United States Vision for Total Highway Asset Management // Proceedings of the 2nd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (Kyoto, Japan, October 19-22, 2004). – London: Taylor & Francis, 2004.*
8. *Transportation Asset Management Guide: A Focus on Implementation. – AASHTO. – 2011. – 496 P.*
9. *ROMAPS-PS. Roughton International's Maintenance Planning System. Installation and Operations Manual. – 1998. – Vol. 1 and 2. – P. 72; P. 149.*
10. *Васильев А.П. Метод комплексной оценки качества и состояния автомобильных дорог / А.П. Васильев // Автомобильные дороги. – 1989. – №7. – С. 10-11; № 8. – С. 7-10.*
11. *ВСН 6-90. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог / Минавтодор РСФСР. – М., 1990. – 68 с.*
12. *Красиков О.А. Мониторинг и стратегия ремонта автомобильных дорог / О.А. Красиков. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004. – 263 с.*
13. *Красиков О.А. Автоматизированный банк данных и стратегия ремонта городских дорог и улиц / О.А. Красиков, И.Н. Косенко. – Алматы: КазгосИНТИ, 2013. – 179 с.*
14. *Красиков О.А. Система управления эксплуатационным состоянием городских дорог и улиц / О.А. Красиков, К.В. Могильный // Дороги и мосты. – 2012. – Вып. 28/2. – С. 77-91.*
15. *Отчет о начальной стадии разработки Системы управления дорожными активами (СУДА) / Министерство транспорта Республики Таджикистан. – Душанбе, 2017.*
16. *Отчет о второй стадии разработки системы управления дорожными активами (СУДА). Т. 1. Общая и констатирующая информация / Министерство транспорта Республики Таджикистан. – Душанбе, 2017.*
17. *Отчет о второй стадии разработки системы управления дорожными активами (СУДА). Т. 2. Обследование автомобильных дорог и оценка их эксплуатационного состояния, учет интенсивности движения транспортного потока и определение дорожных конструкций. Согдийская область Республики Таджикистан / Министерство транспорта Республики Таджикистан. – Душанбе, 2017.*
18. *Отчет о второй стадии разработки системы управления дорожными активами (СУДА). Т. 3. Алгоритм системы управле-*

- ния дорожными активами (СУДА) для дорожной отрасли Республики Таджикистан / Министерство транспорта Республики Таджикистан. – Душанбе, 2017.
19. Отчет о разработке системы управления дорожными активами (СУДА). Окончательный / Министерство транспорта Республики Таджикистан. – Душанбе, 2017.
 20. Красиков О.А. Оценка прочности и расчет усиления нежестких дорожных одежд / О.А. Красиков. – Алматы, 2006. – 203 с.

L I T E R A T U R A

1. NDM-4. Highway Development and Management. Obzor NDM-4. Tom 1. Serija «Razvitie i upravlenie dorogami» / World Road Association (PIARC). – 2004. – 45 s.
2. NDM-4. Razvitie i upravlenie dorogami. Rukovodstvo pol'zovatelja. Tom 3. Serija «Proektirovanie i sodержanie dorog» / World Road Association (PIARC). – 2004. – 177 s.
3. Rekomendacii po adaptacii ishodnyh dannyh v modeli NDM-4 k Rosijskim uslovijam / Mintrans RF, Rosavtodor. – M., 2004. – 17 s.
4. Rosy PMS. Training Programme / Phonix Pavement Consultants. – 1998. – 24 с.
5. Rosy Road Systems. PBS/BMS / Phonix Pavement Consultants. – 1996.
6. Avtomobil'nye dorogi Germanii / Federal'noe ministerstvo transporta Germanii [Bundesministerium fur Verkehr (BMV)]. – Bonn. – 1995.
7. Kane A.R., Aldayuz J.L. A United States Vision for Total Highway Asset Management // Proceedings of the 2nd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (Kyoto, Japan, October 19-22, 2004). – London: Taylor & Francis, 2004.
8. Transportation Asset Management Guide: A Focus on Implementation. – AASHTO. – 2011. – 496 P.
9. ROMAPS-PS. Roughton International's Maintenance Planning System. Installation and Operations Manual. – 1998. – Vol. 1 and 2. – P. 72; P. 149.
10. Vasil'ev A.P. Metod kompleksnoj ocenki kachestva i sostojanija avtomobil'nyh dorog / A.P. Vasil'ev // Avtomobil'nye dorogi. – 1989. – #7. – S. 10-11; # 8. – S. 7-10.
11. VSN 6-90. Pravila diagnostiki i ocenki sostojanija avtomobil'nyh dorog / Minavtodor RSFSR. – M., 1990. – 68 s.
12. Krasikov O.A. Monitoring i strategija remonta avtomobil'nyh dorog / O.A. Krasikov. – Almaty: KazgosINTI, 2004. – 263 s.

13. Krasikov O.A. *Avtomatizirovannyj bank dannyh i strategija remonta gorodskih dorog i ulic / O.A. Krasikov, I.N. Kosenko. – Almaty: KazgosINTI, 2013. – 179 s.*
14. Krasikov O.A. *Sistema upravljenja jekspluacionnym sostojaniem gorodskih dorog i ulic / O.A. Krasikov, K.V. Mogil'nyj // Dorogi i mosty. – 2012. – Vyp. 28/2. – S. 77-91.*
15. *Otchet o nachal'noj stadii razrabotki Sistemy upravljenja dorozhnymi aktivami (SUDA) / Ministerstvo transporta Respubliki Tadžikistan. – Dushanbe, 2017.*
16. *Otchet o vtoroj stadii razrabotki sistemy upravljenja dorozhnymi aktivami (SUDA). T. 1. Obshhaja i konstatirujushhaja informacija. / Ministerstvo transporta Respubliki Tadžikistan. – Dushanbe, 2017.*
17. *Otchet o vtoroj stadii razrabotki sistemy upravljenja dorozhnymi aktivami (SUDA). T. 2. Obsledovanie avtomobil'nyh dorog i ocenka ih jekspluacionnogo sostojanija, uchet intensivnosti dvizhenija transportnogo potoka i opre-delenie dorozhnyh konstrukcij. Sog-dijskaja oblast' Respubliki Tadžikistan. / Ministerstvo transporta Respubliki Tadžikistan. – Dushanbe, 2017.*
18. *Otchet o vtoroj stadii razrabotki sistemy upravljenja dorozhnymi aktivami (SUDA). T. 3. Algoritm sistemy upravljenja dorozhnymi aktivami (SUDA) dlja dorozhnoj otrasli Respubliki Tadžikistan / Ministerstvo transporta Respubliki Tadžikistan. – Dushanbe, 2017.*
19. *Otchet o razrabotke sistemy upravljenja dorozhnymi aktivami (SUDA). Okonchatel'nyj / Ministerstvo transporta Respubliki Tadžikistan. – Dushanbe, 2017.*
20. Krasikov O.A. *Ocenka prochnosti i raschet usilenija nezhestkih dorozhnyh odezhd / O.A. Krasikov. – Almaty, 2006. – 203 s.*

**ROAD ASSET MANAGEMENT SYSTEM
(ON THE EXAMPLE OF ROADS OF
THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN)**

*Doctor of Engineering, Professor **O.A. Krasikov**
(FAI «ROSDORNII»)*

*Ph. D. (Tech.), Professor **I.N. Kosenko**
(KazADI, Almaty)*

Contact information: krasikov@rosdornii.ru

The article presents the review of existing road asset management systems with the conclusions about complexities of their practical implementation. A road asset management system elaborated for developing countries,

particularly for Republic of Tajikistan, is considered. The system consists of three moduli: electronic roadmap, automated road data bank, repair planning subsystem. The created system with developed model of operational chain allows to decide the issues of road repair works planning on the road network of assign region with limited resources and to substantiate strategy of repair for the future up to 3 year in various financing scenarios. The system is realized on an example of roads of Sogdian region of Tajikistan with plotting diagrams of road condition change in time depending on repair work volumes in given financing options. Extended suggestions for elaboration of roadmap for system implementation are done.

Key words: *road assets, management systems, developing countries, automated data bank, electronic road map, repair planning subsystem, operational chain model, strategy of repair for the future up to 3 year, financing options, organization of roadmap for system implementation.*

Рецензент: канд. техн. наук Н.А. Лушников (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 16.05.2017 г.