

УДК 626.7

Иван Носифович АБОНОВИЧ,
 заслуженный деятель науки,
 доктор технических наук,
 профессор,
 ивещующий инженер
 "Строительств
 и эксплуатация дорог"
 Белорусского национального
 технического университета

Сергей Валерьевич БОГДАНОВИЧ,
 кандидат технических наук,
 начальник управления
 дорожной техники и мостов
 Белорусского дорожного
 инженерно-технического центра

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

THEORETICAL AND PRACTICAL PRINCIPLES FOR SYSTEM CONTROL OF ROAD SURFACING CONDITION

Рациональное использование средств, выделяемых на ремонт автомобильных дорог, приобретает большое значение в условиях ограниченности ресурсов. Инструментом, позволяющим осуществлять оптимальное планирование средств, является система управления состоянием покрытий. В настоящее время имеет место дефицит информации, касающейся теоретических и практических основ разработки подобных систем. В статье с позиций системного анализа излагаются некоторые базовые принципы разработки систем управления состоянием дорожных покрытий. Приводится формулировка цели разработки системы применительно к условиям Республики Беларусь.

Rational usage of the means allocated for the road repairment gain great importance under conditions of limited resources. An instrument which allows optimal means planning is a control system of the road surfacing condition. Nowadays there is a shortage of information concerning the theoretical and practical principles of developing similar systems. The article, from the positions of the system analysis, states some basic principles for developing the control systems of the road surfacing condition. The aim formulation for the system development as applied to the conditions of the Republic of Belarus is given.

ВВЕДЕНИЕ

Сеть современных автомобильных дорог любого развитого государства создавалась в течение многих десятков лет. В настоящее время в большинстве стран дорожная сеть сформирована и имеет значительную протяженность. Сравнение сети дорог в различных странах принято выполнять с использованием таких показателей как протяженность дорог на 1000 жителей и протяженность дорог на 1000 кв. км территории.

По этим показателям дорожная сеть Республики Беларусь сопоставима с сетью в других странах (таблица 1), в том числе, таких как США, Швеция [1].

Протяженность автомобильных дорог общего пользования в нашей стране составляет по состоянию на 1 января 2007 года 83 640 км, из которых 15 426 км относится к республиканским и 68 214 км — к местным дорогам.

Одной из отличительных особенностей дороги как инженерного сооружения является постоянное, не прекращающееся с момента начала строительства, агрессивное воздействие окружающей среды и автомобильного транспорта, которые в некоторых случаях могут превышать расчетные значения как по длительности, так и по интенсивности. Все это приводит к различным видам повреждений дорог, в первую очередь, дорожного покрытия (рис. 1).

Любые повреждения ухудшают потребительские свойства дорог — их ровность, сцепные свойства, свето-

технические характеристики. По плохим дорогам некомфортно ездить, ускоренными темпами изнашивается подвижной состав, снижается средняя скорость передвижения. Это ведет к росту затрат пользователей дорог, потерям времени на доставку грузов и пассажиров, т. е. оборачивается экономическими потерями, что в масштабах всей страны составляет значительные суммы.

Таблица 1. Сравнение сети автомобильных дорог Республики Беларусь с сетью дорог других стран

Страна	Наличие сети автомобильных дорог, км	
	На 1000 жителей	На 1000 кв. км территории
Казахстан	11,4	62
Украина	3,6	280
Россия	8,0	70
Беларусь	8,1	402
Литва	6,3	330
Франция	16,8	1830
Германия	7,8	1803
Швеция	15,6	313
США	22,4	670



Единственным способом противостоять потерям является проведение ремонтов дорог. Здесь мы сталкиваемся с другой особенностью дорог — высокой материалоемкостью и, следовательно, высокой стоимостью ремонтов. Так, для того чтобы отремонтировать 1 км дороги IV категории потребуются в среднем 150 000 долларов США, а при ремонте километра дороги I категории стоимость возрастает в несколько раз. Чтобы отремонтировать даже треть дорог, потребуется сумма, превышающая все золотовалютные запасы страны.

Это означает, что на ремонт всех дорог средств не хватает. Так обстоит дело в любой стране: каждая дорожная администрация имеет дело с недостатком финансовых средств и невозможностью выполнить все требуемые ремонты.

В этих условиях возникает ряд сложных вопросов. Какие дороги следует ремонтировать? Те, которые наиболее разрушены? А если движение транспорта по ним незначительно? Если ремонтировать, то какой вид ремонта выполнять? Где выполнить ремонт в первую очередь, а где его проведение можно отложить на более поздний срок? Перечень таких вопросов можно продолжать. В итоге мы имеем дело с чрезвычайно сложной инженерно-экономической проблемой, для решения которой требуются большое количество исходных данных, специальные методы и алгоритмы.

США, страны Западной Европы, в которых темпы автомобилизации в течение многих лет были выше, первыми столкнулись с такой проблемой. Ответом стало создание и развитие специальных инструментов — систем управления состоянием покрытий (СУСП или PMS от английского pavement management systems).

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ПОКРЫТИЙ

Сейчас невозможно со всей определенностью сказать, где и когда появилась первая СУСП. Принято считать, что основу разработкам систем управления положило дорожное испытание AASHO 1956-1960 гг. Одно из первых описаний системы разработали американские специалисты в 1970 г. для австралийской дорожной администрации. В 1977 г. в США вышло первое учебное пособие по системам управления состоянием покрытий [2]. За это время системы управления состоянием покрытий прошли путь от простейших наборов инструкций до сложнейших компьютеризированных систем, а их разработка и развитие выделились в отдельную отрасль дорожной науки.

При определении системы управления возможны две трактовки. Одни из родоначальников СУСП Хаас и Хадсон (Ralph Haas, W.R. Hudson) определяют систему управления состоянием дорожных покрытий как коор-



Рис. 1. Примеры разрушений дорожного покрытия

динированную совокупность всех видов деятельности, связанных с планированием, проектированием, строительством, текущим содержанием и оценкой состояния дорог, а также научными исследованиями в области дорожных одежд [3]. Часто термин применяют в более узком смысле; мы его определяем в этом случае как взаимосвязанную совокупность процедур и моделей сбора и обработки данных о состоянии покрытия, а также разработанное на их основе программное обеспечение [4].

Традиционно СУСП делят на две категории: системы сетевого уровня и системы объектного (или проектного) уровня. Решения сетевого уровня направлены на проведение политики сохранения дорожного покрытия в рамках сети, определение приоритетов в проведении ремонтных мероприятий, оценку требуемого уровня финансирования. Решения объектного уровня направлены на инженерно-технические аспекты, т. е. подбор конкретных действий по реконструкции, капитальному и текущему ремонтам. Считается, что исчерпывающая СУСП включает в себя компоненты, используемые как в сетевом, так и в объектном уровнях. В то же время, наиболее простыми, разработанными и развитыми являются процедуры сетевого уровня. В последнее время в некоторых американских источниках выделяют еще одну категорию PMS: системы исследовательского уровня [5]. Такой подход также полностью отвечает нашей точке зрения. Следует отметить, что в европейских странах при рассмотрении различных аспектов систем управления об исследовательском уровне не говорят.

Обычно проектировщики и разработчики новых материалов и технологий для строительства и ремонта автомобильных дорог накапливают значительный экспериментальный материал, касающийся всех сторон применения этих материалов и технологий. Это особенности конструкций и строительного процесса, результаты наблюдений за участком после ремонта, ряд других данных. В большинстве случаев результаты оседают в архивах проектных и исследовательских фирм и не находят дальнейшего применения. Задача СУСП исследовательского уровня состоит во включении в работу всех упомянутых данных. Решения исследовательского уровня направлены на определение причин разрушений участков дорог, определение оптимальных областей применения материалов и технологий. Суще-

ственной особенностью компонентов исследовательского уровня, препятствующей их широкому распространению, является высокая стоимость работ, значительно превышающая стоимости работ сетевого и объектного уровней.

Многие западные фирмы свой бизнес в той или иной степени основывают на разработке и внедрении PMS в развивающихся странах и на консультациях в этой области. На сегодняшний день в мире существует большое количество систем. Практически каждая развитая страна имеет собственную СУСП, некоторые имеют по несколько систем. В США PMS имеется в каждом штате. Если учесть еще и коммерческие разработки, то количество систем управления измеряется сотнями. В то же время, систем, имеющих широкую известность, сравнительно немного. Их можно классифицировать по виду исходных данных, являющихся основными для работы системы, следующим образом. Системы, ориентированные на показатель прочности. К ним можно отнести датские PMS Dynatest и RoSy. Системы, ориентированные на дефектность покрытия. К ним можно отнести датскую систему VEJOPS, разработанную для использования на местных дорогах. Системы, ориентированные на ровность. Здесь можно назвать датскую систему BELMAN. Универсальные системы, использующие в равной мере данные по ровности, прочности, дефектности. К ним относятся финская PMS91, норвежская PMS98, нидерландская RAMM, английская WDM, разработки канадской фирмы Deighton. К этой же группе следует отнести HDM — разработку Всемирного банка, а также многочисленные системы, в которых идеология HDM взята за основу — разработки датской фирмы KAMPASAX, литовскую систему DAVASEMA и др.

ОСОБЕННОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СУСП

Рассмотрим особенности некоторых известных систем управления покрытиями.

BELMAN. Система управления состоянием покрытий сети главных дорог Дании. Система, созданная датским дорожным директором, сегодня используется и в других странах и имеет широкую известность. При этом модели инженерного анализа данной СУСП закрыты от пользователя, а информация о ней минимальна даже в рекламных материалах. Для работы системы используется три типа исходных данных: информация о состоянии сети дорог, включая ровность, несущую способность, сопротивление заносу; данные о текущей и прогнозируемой интенсивности движения и осевых нагрузках; данные о применяемых ремонтах и их стоимостях.

Система выполняет также три вида вычислений. Определяются приоритеты ремонтов каждого участка дороги в соответствии с имеющимися средствами и принятыми видами ремонтов. Вычисляется будущее состояние сети при реализации ремонтов в соответствии с имеющимися средствами. Рассчитывается оптимальная программа ремонтов на несколько лет, дающая наибольший эффект. В качестве критерия оптимизации принимается минимум общетранспортных затрат.

RoSy. В настоящее время систему развивает и распространяет как коммерческий продукт датская фирма CarlBro.

Система RoSy включает ряд программных инструментов для выполнения планирования в масштабах дорожной сети. Система построена таким образом, что пользователь воспринимает ее как единый программный продукт. В состав системы входят:

— RoSy Base — база дорожных данных, позволяющая хранить как числовые данные, так и текстовые, а также изображения;

— RoSy Plan. Этот модуль является ядром системы RoSy. На основе информации, содержащейся в RoSy Base или в любой другой базе данных с использованием динамических моделей разрушения покрытия, модуль определяет оптимальные ремонтные мероприятия для всей дорожной сети или для отдельного участка. Кроме этого, модуль позволяет определить последствия неадекватных ремонтов, например, в результате недостаточного финансирования. Пользователь имеет возможность настраивать формы отчетов и задавать собственные. Еще одной особенностью является то, что пользователь может выбрать тип используемой модели оптимизации. В качестве оптимизируемой переменной могут использоваться внутренняя норма рентабельности, чистая текущая стоимость, отношение выгод и затрат. Транспортные расходы включены в систему в соответствии со стандартами, установленными Всемирным банком в его моделях HDM-III и HDM-IV. Все алгоритмы и модели, используемые в системе, являются закрытыми и не документируются;

— RoSy Dig. Этот модуль служит для управления земляными работами в масштабах сети, включая административные процедуры и последующий контроль производства работ;

— RoSy Design — на основе измерений дефлектометра падающего груза, который также производит фирма CarlBro, модуль вычисляет прочностные свойства каждого слоя дорожной одежды. Модуль позволяет с использованием информации об интенсивности движения определить какой слой дорожной одежды является самым слабым, обладает минимальным остаточным сроком службы и нуждается в усилении. Следует отметить, что данная часть системы непригодна для использования в тех странах постсоветского пространства, где расчет дорожной одежды базируется на ВСН 46-83, поскольку в программе используется другая теоретическая база;

— RoSy Map — модуль, который интегрирует все другие. При этом пользователь может выполнять действия в RoSy Base, может в интерактивном режиме работать с ГИС. Данные, рассчитанные в RoSy Plan, могут быть представлены графически на карте. Открытая структура базы данных позволяет пользователю использовать широкий спектр продуктов ГИС.

В настоящее время в Дании используется 3 PMS: для государственных дорог, в 14 графствах и 60 муниципалитетах используются системы BELMAN и Vejman. В трех муниципалитетах используется система Dynatest. Еще в трех графствах и 110 муниципалитетах используется PMS RoSy.

PMS91. Это система управления состоянием дорожных покрытий проектного уровня, используемая финской дорожной администрацией. Система включает в себя банк дорожных данных (RDB), систему сетевого уровня (HIPS), а также банк данных о состоянии и исторические данные о каждом 100-метровом участке каждой дороги (KURRE). Названные компоненты работают только совместно. Схема системы управления представлена на рис. 2.

Алгоритмы и процедуры, используемые в PMS91, являются закрытыми и не публикуются. Система использует модели прогнозирования для определения будущего состояния покрытий. Имеются модели для колеобразования, дефектности и ровности, они разработаны на основе экспериментальных наблюдений за состоянием участков дорог.

Виды ремонтов дорожных покрытий, используемые в системе, их стоимость, а также правила применения определяются и вводятся в систему пользователем самостоятельно.

Кроме Финляндии система PMS91 внедрена в некоторых африканских странах.

dTIMS. Система управления линейными объектами инфраструктуры, разрабатываемая канадской фирмой Deighton Associates Limited. Фирма создала систему таким образом, что с ее помощью можно работать не только с автомобильными, но также с железными дорогами, трубопроводными сетями, любыми другими объектами, имеющими линейную структуру. Схема элементов системы представлена на рис. 3.

При использовании системы для управления состоянием дорожных покрытий необходимо четыре типа исходных данных: паспортные данные, данные по интенсивности и составу движения, данные по состоянию покрытия, данные параметров модели. Данные первых трех типов необходимы для генерирования и формирования данных четвертого типа. Для создания данных параметров модели система должна располагать хронологией данных по состоянию. В случае отсутствия этих данных следует использовать мнение экспертов. Другие источники, используемые системой, это, в частности, экономические исследования, необходимые для определения размеров транспортных и эксплуатационных затрат.



Рис. 2. Схема использования системы PMS91

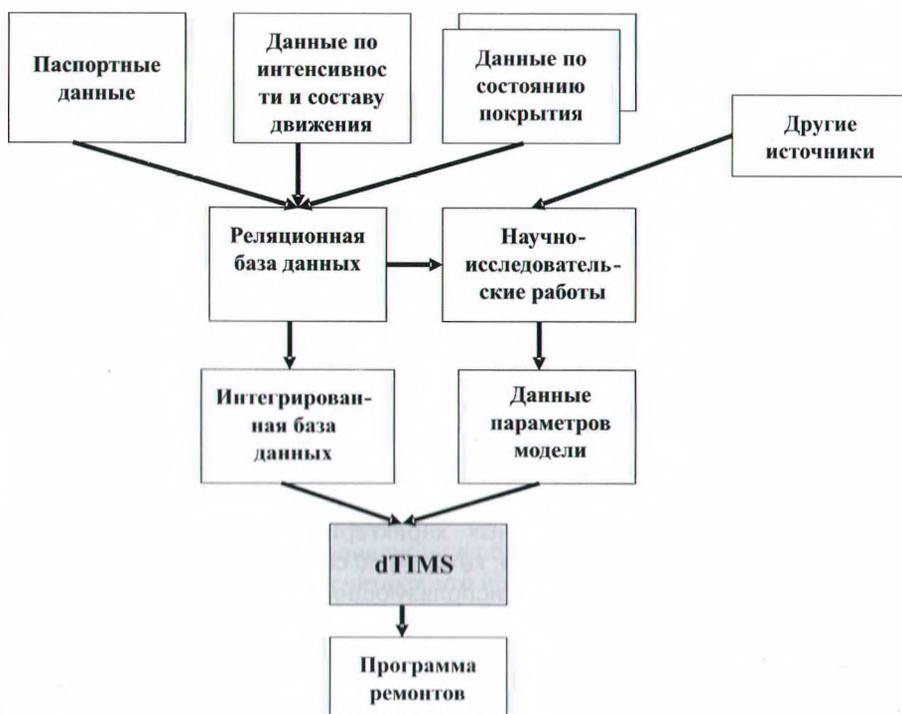


Рис. 3. Схема элементов системы dTIMS

В качестве реляционной базы данных может использоваться, например, Access, Oracle или SQL-Server. Ранее фирма разрабатывала собственную базу данных dROAD, однако в настоящее время от нее отказалась.

Пользователь системы имеет определенную свободу действий при определении параметров моделей прогнозирования, видов ремонтов и области их применения. В то же время, основные алгоритмы и аналитические процедуры от пользователя закрыты и не описыва-

ются. В качестве критерия оптимизации чаще всего используется минимум общетранспортных затрат. Система находит широкое применение в США, Канаде, в развивающихся странах по всему миру.

HDM-IV. Проект HDM (Highway Development and Management tools — развитие автомобильных дорог и инструменты управления ими) разрабатывался при финансовой поддержке ряда национальных и международных организаций, в числе которых Администрация по развитию заморских территорий Великобритании (ODA), Банк развития Азии (ADB), Шведская национальная дорожная администрация (SNRA), Финская дорожная администрация (FinnRA), Межамериканская федерация производителей цемента (FICEM) и Всемирный банк.

Генеральным разработчиком была Научно-исследовательская группа по управлению автострадами (HMRG) при Бирмингемском университете Великобритании. Кроме того, в разработке принимали участие SNRA, Научно-исследовательский институт дорог в Малайзии, FinnRA, FICEM.

Предыдущая версия HDM-III, разработанная Всемирным банком, использовалась в течение более двух десятилетий для решения технических и экономических задач по обоснованию проектов финансирования дорог и для анализа стратегий и стандартов. Для расширения сферы действия HDM-III были проведены международные исследования. Их основной задачей являлось создание новой стандартной модели с целью ее использования для оценки технических, экономических, социальных и, связанных с окружающей средой, вложений в дороги.

Общая структура HDM-IV приведена на рис. 4. Она состоит из ряда элементов.

Технический анализ в системе проводится с использованием моделей. Их четыре: RDWE — модели развития транспортно-эксплуатационных характеристик; RUC — затраты пользователя дорог, которые по своему охвату эквивалентны моделям, используемым в HDM-III; SEC — социально-экономические расходы, которые позволяют прогнозировать аварийность на дорогах и влияние на окружающую среду; MIE — определяют влияние ремонтных мероприятий на изменение транспортно-эксплуатационных показателей дорог, а также затраты дорожной организации в течение каждого года [6].

Модели развития транспортно-эксплуатационных характеристик, разработанные в HDM-IV, являются на сегодняшний день одними из обширных и фундаментальными во всем мире и претендуют на универсальность. Однако универсальность моделей обернулась таким серьезным недостатком, как громоздкость и чрезвычайная сложность использования. Система перегружена разного рода калибровочными коэффициентами, для получения большинства из которых необходимо проводить дополнительные обширные исследования. При

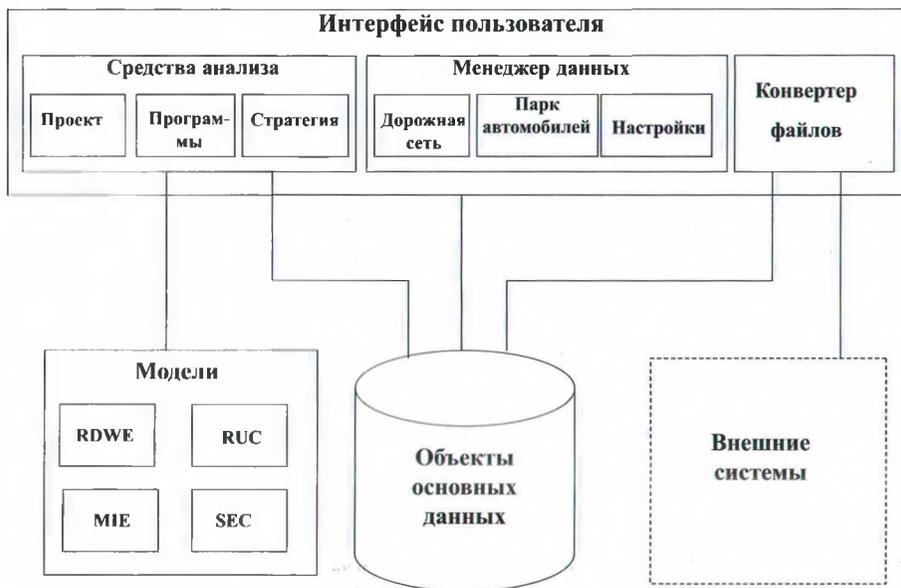


Рис. 4. Общая структура HDM-IV

этом нет никаких гарантий, что откалиброванные модели будут соответствовать действительности. Не случайно А.П. Васильев отмечает, что без существенной доработки использование моделей HDM-IV для технико-экономических расчетов в условиях России не представляется целесообразным [7].

Подавляющее большинство систем, как названных, так и других, объединяет использование одного и того же аналитического метода — сокращенного метода анализа стоимости жизненного цикла. Компонентами этого анализа являются первоначальная стоимость ремонтных работ и последующие эксплуатационные затраты пользователей дорог, а также затраты на проведение последующих ремонтов в течение периода анализа.

Такой подход является наиболее популярным и разработанным во всем мире. При использовании такого анализа определяющим становится использование моделей прогнозирования, поскольку на основе прогноза состояния покрытия определяются затраты пользователей, а также потребность в проведении будущих ремонтов.

Существует два основных подхода к прогнозированию состояния покрытия. В первом случае оно прогнозируется как функция многих переменных, во втором — как функция одной переменной — срока службы.

К прогнозным системам первой группы в первую очередь относятся модели HDM. Многие СУСП используют их как основу для разработки собственных моделей. В качестве примера можно привести формулу регрессии ровности в литовской системе DAVASEMA [8]:

$$IRI_t = 134e^{m(t-t_0)} (SNC_{t_0} + 1)^{ESAM} + mIRI_{t_0} + k_1 \Delta RDS + k_2 \Delta POT + k_3 \Delta ACX, \quad (1)$$

где IRI_t — ровность в год t ;
 m — климатический коэффициент;
 SNC_{t_0} — структурное число дорожной одежды в год t ;

ESAM — число эквивалентных осей 8,2 т в год;
 ΔRDS — прирост стандартного отклонения глыбы колеи;
 ΔPOT — прирост выбоин;
 ΔACX — прирост трещин;
 k_1, k_2, k_3 — калибровочные коэффициенты;
 t — год прогноза;
 t_0 — год измерения параметров.

Для каждого из показателей, входящих в формулу, также существует своя модель регрессии.

Модели второй группы являются более простыми, однако они хорошо работают только на ограниченной территории, для которой были созданы. Примером может служить формула прогноза ровности из датской системы управления BELMAN, где учитывается только число лет t эксплуатации покрытия:

$$IRI = IRI_0 + 0,0077t^2 - 0,00399t + 1,12. \quad (2)$$

В то же время, использование моделей второй группы представляется предпочтительным ввиду их простоты, что в конечном итоге оборачивается снижением стоимости сбора и анализа данных. Модели этой группы разрабатываются или путем экспертных оценок, или на основе анализа данных наблюдений.

ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Изучение многочисленных информационных и исследовательских материалов по PMS, имеющихся в сети Интернет, ознакомление с материалами международных конференций по данному вопросу позволяют сделать несколько неожиданные, на первый взгляд, выводы.

Разработчики систем управления абсолютно не заинтересованы в распространении реальных знаний о PMS. Их единственной целью является продажа своего продукта, поскольку покупатель при этом становится почти абсолютно зависимым от поставщика не только в части методики, но и в использовании измерительного оборудования. По этой причине мы не найдем в материалах по PMS ответа на вопрос "Почему?", а получим только набор инструкций, к тому же не достаточно гибкий. При этом во многих случаях мы можем найти достаточно подробное описание инженерных и экономических моделей, используемых в системах. Интересно, что знакомство с данными моделями может привести к впечатлению о том, что это, собственно, и есть СУСП. Однако разработчики систем не раскрывают глубинных принципов их построения. Эти принципы являются хорошо охраняемыми технологическими секретами и ноу-хау. В таких условиях простое копирование инженерных и экономических моделей расчетов приведет к созданию лишь псевдо системы, работа по которой создаст только дополнительные затраты. Таким образом, рассмотрение любых аспектов проблемы системного управления состоянием автомобильных дорог представляется актуальным и своевременным.

Первое, что необходимо определить при изучении или разработке СУСП, — это цель использования систе-

мы. Для чего нужна система и, в конечном счете, для чего нужен ремонт дорожного покрытия? Почти ни в одном из доступных источников нет ответа на этот вопрос. Некоторые авторы рекомендуют ориентироваться на "образцовые" цели, пригодные, якобы, в большинстве случаев. Такими целями являются:

- увеличить протяженность дорог в хорошем состоянии. Для работы необходимо рассчитать состояние, определить, какое состояние будет хорошим;

- увеличить остающийся срок эксплуатации. Эта цель показывает, какой срок эксплуатации имеется в запасе у дорожной сети и прогнозирует состояние дорог в будущем;

- увеличить экономию в рамках затрат на эксплуатацию транспорта. Здесь необходимо рассчитать затраты. Обычно их рассчитывают на основе данных по ровности. Экономия на затратах рассчитывается путем анализа разницы в ровности при отсутствии ремонта и после него. Данная цель часто дополняется требованием повышения безопасности движения;

- снизить чистую текущую стоимость совокупных транспортных затрат (СТЗ). Для работы необходимо рассчитать затраты на эксплуатацию транспорта и собственные издержки дорожной организации. СТЗ — сумма затрат на эксплуатацию транспорта и собственных издержек. Чистая текущая стоимость — это разница между СТЗ при отсутствии ремонта дороги и СТЗ после осуществления ремонтных работ;

- увеличить номинальную стоимость активов дорожной сети. Необходимо измерить номинальную стоимость активов. Они рассчитываются по методу восстановительной стоимости. Этот метод показывает разницу между стоимостью перестройки дорог и ремонта при доведении ее до нового состояния.

Как видим, целей может быть несколько, и они различаются между собой. Конкретных рекомендаций о том, какую цель следует ставить перед собой дорожной администрации в области ремонта и содержания дорог, в литературе не содержится. Понятно, что выбор цели СУСП, а следовательно, и проведение ремонтов, является важнейшей стратегической задачей, поскольку определяет направления работы отрасли как минимум на несколько лет.

Специалисты в области разработок системы управления считают, что использование коммерческих СУСП подходит только для тех стран, которые не имеют собственных подготовленных кадров для самостоятельной разработки. Развитые же страны должны разрабатывать систему самостоятельно, это позволит учесть все местные особенности. В дорожной отрасли Республики Беларусь собственная СУСП была разработана в 1998–2000 годах. За это время накоплен значительный материал, позволяющий сделать определенные теоретические и практические обобщения, связанные с процессом разработки.

Исходя из особенностей решаемых задач, разработку системы управления покрытиями следует вести, опираясь, в первую очередь, на положения системного анализа. С этих позиций логической основой изучения любых систем является точное определение целей системы, то есть смысла ее существования.

В терминологии системного анализа под целью понимают ситуацию или область ситуаций, которая должна быть достигнута при функционировании системы за определенный промежуток времени. Цель может задаваться требованиями к показателям результативности, ресурсоемкости, оперативности функционирования системы либо к траектории достижения заданного результата [9]. Во имя осуществления целей создаются и развиваются сами системы.

При определении цели первое, что необходимо учесть, это то, что основная цель системы определяется надсистемой, то есть более крупным образованием, в которую наша система входит как элемент. Очевидно, что в случае автомобильных дорог такой надсистемой является транспортный комплекс. Однако положение осложняется тем, что цели и задачи надсистемы могут быть неизвестны, или известны не полностью. В этом случае цель можно сформулировать, оставаясь на уровне системы. Для этого необходимо принять во внимание, что цели можно классифицировать по различным признакам: уровню стабильности, содержанию, функциональному уровню, уровню управления, степени открытости и др. Основным является признак уровня стабильности. Это значит, что какие бы цели не стояли перед нами, основополагающей является цель, характеризующаяся уровнем стабильности. Может совсем ни быть никаких других целей, кроме одной — цель стабилизации системы или цель развития системы.

Что означает цель развития применительно к системе управления состоянием покрытий?

Можно предложить следующую ее формулировку: с учетом имеющихся финансовых ресурсов разработка такой программы ремонтных мероприятий, реализация которой обеспечит наилучшее возможное состояние сети дорог в течение определенного периода анализа.

Целью является не каждое намерение или пожелание. Настоящей цели свойственен ряд отличительных признаков, один из которых состоит в том, что цель должна иметь численное выражение для того, чтобы можно было судить о том, достигнута она или нет. Такие цели, в которых нет шкалы измерений, следует оценивать по длительности процесса.

Рассмотрим количественную и графическую интерпретации приведенной выше цели. Сейчас мы не будем останавливаться на том, что понимать под состоянием сети дорог применительно к разработке системы управления, поскольку это предмет отдельного рассмотрения. В качестве примера примем, что состояние сети оценивается ее ровностью.

Рассмотрим среднюю ровность покрытия некоторой сети дорог за 5 лет — с 2003 по 2007 годы. Эти значения составили: 4.99; 5.0; 4.77; 4.63; 4.62 м/км по шкале IRI. При аппроксимации по методу наименьших квадратов значение наклона аппроксимирующей прямой определяется по формуле:

$$m = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3)$$

где n — число анализируемых лет, в данном случае 5;

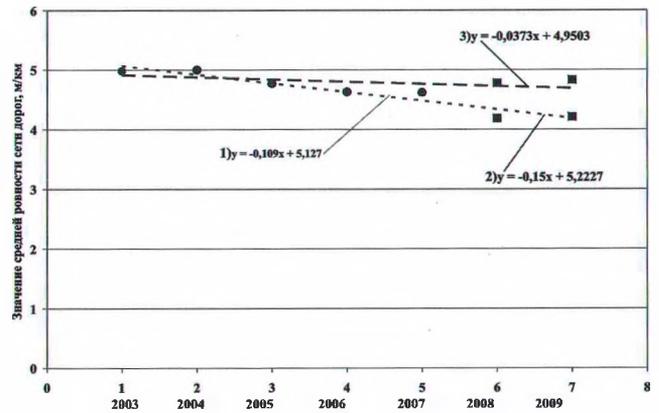


Рис. 5. Аппроксимация состояния сети при различных вариантах ремонтов

x — порядковый номер года, для текущего года номер равен 5;
 y — значение ровности, м/км, в соответствующий год.

Для приведенных значений ровности наклон аппроксимирующей кривой составляет (-0,109), т. е. ровность со временем несколько улучшается (прямая 1 на рис. 5). Предположим, что в результате проведения ремонтных работ в 2008 и 2009 гг. в первом случае средняя ровность сети изменилась и составила соответственно 4.18 и 4.21, а значение наклона аппроксимирующей прямой составило (-0,15) (прямая 2 на рис. 5). Во втором случае ровность сети составила соответственно 4.79 и 4.83, а наклон прямой (-0,0373) (прямая 3 на рис. 5).

В результате мы можем говорить, что в результате первого варианта ремонтов состояние сети улучшилось относительно первоначального состояния, во втором случае произошло ухудшение. То есть, при первом варианте ремонтных мероприятий поставленная цель выполняется, при втором — нет. В целом, когда имеет место улучшение состояния сети, из нескольких вариантов ремонта следует выбирать тот, у которого наклон аппроксимирующей прямой больше отличается от первоначального значения.

Может иметь место ситуация, при которой объем финансирования дорожных работ мал, и улучшить состояние сети не удастся. В этом случае целью должна стать разработка такой программы ремонтов, при которой ухудшение состояния сети будет минимальным, т. е. наклон аппроксимирующей прямой будет максимально приближен к первоначальному значению.

Использование в процессе анализа программы ремонтов двух следующих лет не случайно: в дорожной отрасли в настоящее время программы ремонтных работ разрабатываются именно на два года. При необходимости этот срок может быть увеличен, например, до проектного срока службы покрытия. В этом случае большое значение играет прогноз развития состояния дорог. Полученные результаты будут представлять интерес при долгосрочном планировании, обосновании потребности средств для отрасли.



ВЫВОДЫ

1 В настоящее время в мире существует значительное количество систем управления состоянием дорожных покрытий. В то же время, принципы построения таких систем в имеющейся литературе изложены недостаточно полно.

При кажущейся разработанности теоретические и практические основы систем управления требуют систематизации и дальнейшего развития, в частности, с точки зрения их использования в Республике Беларусь.

2 При изучении и разработке систем управления следует выделять сетевой, проектный и исследователь-

ский уровни их использования, каждый из которых имеет выраженные особенности.

3 Главнейшим этапом при разработке системы следует считать формулировку цели. В условиях Республики Беларусь оптимальной целью следует считать разработку такой программы ремонтных мероприятий, реализация которой обеспечит наилучшее возможное состояние сети дорог в течение периода анализа с учетом имеющихся финансовых ресурсов.

Приведенная цель хорошо выражается количественно и оценивается наклоном прямой, аппроксимирующей средние значения состояния покрытия за период анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние сети автомобильных дорог в Российской Федерации [Electronic resource] — Mode of access: <http://www.dorkomstroy.ru/content/view/2402/90/> Date of access: 06.11.
2. Finn, F. Pavement Management Systems. — Past, Present, and Future [Electronic resource] / Public Roads, July/August 1998, Vol. 62, No. 1. — Mode of access: <http://www.tfhr.gov/pubrds/julaug98/pavement.htm/> Date of access: 06.11.2007.
3. Haas, Ralph. Pavement Management System / Haas Ralph and W.R. Hudson // McGraw-Hill Book Company. — New York, 1978. — 320 p.
4. Леонович, И.И. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог / И.И. Леонович [и др.], под ред. И.И. Леоновича. — Минск: БНТУ, 2002. — 357 с.
5. Use of PMS Data For Performance Monitoring With Superpave As An Example Volume 1 / W.R. Hudson, C.L. Monismith, C.E. Dougan, W. Visser [Electronic resource] // Mode of access: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/management/pms.cfm/> / Date of access: 06.11.2007.
6. Odoki, J.B. HDM-4 Technical Reference Manual / J.B. Odoki, G.R. Kerali. — Vol. 4. — PIARC, 1999. — 379 p.
7. Васильев, А.П. XXI международный дорожный конгресс // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2000. — № 1. — С. 30, 31.
8. Virgaudas Puodziukas Bituminous pavement evaluation and strengthening needs assessmaent in Lithuania // Summary of Doct. Diss. — Vilnius: Technika, 2000. — 42 p.
9. Системный анализ в управлении: учеб. пос. / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под ред. А.А. Емельянова. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 368 с.

Статья поступила в редакцию 26.11.07.