

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ СИСТЕМНЫХ СВОЙСТВ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Автомобильные дороги (АД) это сложный природно-технический комплекс, они являются системами, процесс функционирования которых, в большей мере, характеризуется их состояниями, чем свойствами. Под СИСТЕМОЙ ПОНИМАЕТСЯ совокупность элементов, объединенных конструктивно или функционально для выполнения некоторых функций или составной объект любого уровня сложности, который может включать персонал, процедуры, материалы, инструменты, средства обслуживания, программное обеспечение.

Функциональная надежность (устойчивость) состояний и свойств АД обеспечивается наличием необходимой инфраструктуры и эксплуатационной базы хозяйств дороги.

В данной статье на основе применения системного подхода ставится задача обеспечения требуемых системных свойств и функциональной устойчивости автомобильной дороги как сложного технического объекта. Подобный подход может стать научной основой теории ремонта и содержания АД.

К отдельным объектам сети АД можно отнести:

- АД как часть сети, соединяющей два географических пункта;
- участок АД как один или несколько отрезков, обслуживаемых одной бригадой;
- отрезок АД.

Отдельные объекты могут рассматриваться как элементы сложной системы АД, и сами могут быть системами. Поэтому анализ технического состояния (ТС), показателей надежности и рисков (ПНР) должен вестись с системных позиций.

ТС характеризуется физико-техническими параметрами АД в некоторый заданный момент времени. Техническое состояние в соответствии с ГОСТ 27.002-89 может быть исправным или неисправным, работоспособным или нет, и, наконец, предельным (состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно).

Для систем, особенно сложных, понятие работоспособности может быть нечетким, поэтому различают еще частично работоспособные ТС. Измерителями ТС, кроме названных категорий, могут быть шкальные характеристики – индексы или баллы (оценки простые и удобные для сравнения ТС однотипных объектов, но несовместимые при рассмотрении системы объектов). Каждый раз нужно оговаривать правила формирования подобных оценок.

В ОДН 218.006-2002 технико-эксплуатационные качества или характеристики АД оценивают значениями интегрального сводного обобщенного показателя. Он включает в себя в качестве сомножителей комплексный показатель ее транспортно-эксплуатационного состояния (КП ТЭС АД), показатель инженерного оборудования и обустройства Коб и показатель содержания дорог K_3 .

Первый из этих показателей вычисляется для каждого характерного участка АД и принимается для дороги в целом как средневзвешенный по длине участков. В основу комплексной оценки ТЭС АД положен принцип обязательного соблюдения всех нормативных требований к параметрам и характеристикам дороги. Поэтому итоговое значение коэффициента K_{pi} на i -том участке принимается равным наименьшему из всех частных коэффициентов, полученных по готовым таблицам для каждого из десяти параметров и характеристик на этом участке. Физический смысл этих величин – обеспеченность расчетной скорости. По сути дела, формируется индекс обеспечения расчетной скорости, меньший единицы.

Показатель инженерного оборудования и обустройства $K_{об}$ определяют по величине коэффициента дефектности соответствия. Заметим, что в терминах технической диагностики дефектом называют любое несоответствие свойств объекта заданным, требуемым или ожидаемым его свойствам. Тот же смысл имеется в виду в данном случае: под дефектностью соответствия понимают отсутствие, недостаточное количество или несоответствие нормативным требованиям и параметрам, конструкции и размещению элементов инженерного оборудования и обустройства. Учитывая разнообразие этих элементов, рассматриваются семь частных коэффициентов, которые разделены на две группы – в зависимости от протяженности АД, на которую распространяется функциональное влияние дефектности. Основной физический смысл коэффициентов – процентное содержание дефектных элементов. Итоговый коэффициент дефектности определяют для каждого километра дороги. Показатель содержания АД K_3 по ВСН 10-87 оценивают по определенным правилам на основе балльных оценок качества содержания отдельных элементов АД: дорожной одежды с покрытием; земляного полотна и водоотвода; благоустройства и озеленения.

Обобщенный показатель ТЭС АД представляет собой смесь различных по своей природе оценок, пригодный для сравнения ТС различных автомобильных дорог сети АД. Прогнозными свойствами такая оценка не обладает.

Прогнозирование состояния АД возможно, но при этом необходима разработка достаточно информативного метода описания состояния системы. Все состояния должны описываться в одинаковых параметрах. Количество параметров должно быть конечно. Вид параметров зависит от вида системы и эксплуатационной среды.

Так как параметры, принятые для оценки состояния АД или участка дороги, зависят по своему физическому смыслу, то целесообразно (на первом этапе) из первоначальной системы исходных признаков сформировать систему статистически независимых признаков. Традиционно используемый для этой цели метод главных компонент в данном случае не вполне приемлем, так как он не исключает необходимости определения всей совокупности параметров. Для отсеивания малоинформативных параметров предлагается использовать метод «обучения с учителем» (или модель распознавания с эталоном).

Имеющиеся данные (из литературных источников и результаты собственных исследований) не позволяют отдать предпочтение какому-либо свойству или параметру в решении задачи описания ТЭС АД.

Основными параметрами и характеристиками, определяющими транспортно-эксплуатационные показатели АД являются:

- геометрические параметры (ширина полосы движения; ширина обочины, ширина краевой полосы у обочины, ширина укрепленной части обочины; ширина центральной разделительной полосы, ширина коевой полосы безопасности у разделительной полосы; поперечные уклоны проезжей части и обочины; продольные уклоны; радиусы кривых в плане и продольном профиле; уклоны виражей и расстояние видимости);
- прочность и состояние дорожной одежды проезжей части и обочин;
- ровность и сцепление покрытий проезжей части и обочин;
- состояние земляного полотна;
- состояние и работоспособность водоотвода;
- габариты, грузоподъемность и состояние мостов, путепроводов и других искусственных сооружений;
- состояние элементов инженерного оборудования и обустройства автомобильной дороги.

Из возможных параметров, характеризующих отдельные свойства или ТС АД в количественном или качественном отношении, целесообразно, по нашему мнению, оставить только количественные, методика определения которых достаточно отработана. Такой подход

определяет возможность применить для оценки и последующего выделения значимых параметров упрощенные методы математической статистики и теории вероятности.

ТС АД понимается как степень соответствия нормативным требованиям переменных параметров и характеристик АД. Предлагается использовать для описания ТС только те параметры, которые изменяются под воздействием транспортных средств, гидро-геологических и метеорологических условий; зависят от уровня содержания АД.

В качестве таких параметров могут быть приняты все виды дефектов и повреждений, которые можно оценить количественно, например, количество трещин с дифференциацией по ширине раскрытия, площадь участков шелушения покрытия, площадь выбоин, коэффициент сцепления, глубина колеи и т.п. Для выделения той части изменения названных параметров, которая определяется воздействием внешней среды, вместо абсолютных значений характеристик свойств предлагается рассматривать изменения относительных или статистических значений этих характеристик относительно аналогичных им в состоянии начальном или принятом за начальное. Это позволит исключить возможные систематические ошибки.

Разработана методика, в основе которой – оценка стоимости устранения дефектов и ликвидации возможных негативных последствий их наличия в

ТЭС АД. Все дефекты измеряются в денежном эквиваленте (как обобщенном измерителе), что позволяет производить с ними арифметические действия. Если суммарная стоимость устранения дефектов превышает выделенный лимит на содержание АД (за вычетом расходов на циклически выполняемые работы по содержанию), то АД должна подлежать ремонту.

Комплексным свойством АД является надежность, связанная методами гармонизации старой и новой системой технического регулирования с показателями безопасности, например: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость или определенные сочетания их свойств.

Все показатели ПНР являются функциями времени: безотказность (время работы до момента наступления отказа), ремонтпригодность (время, которое затрачивается на предупреждение отказа и устранение его последствий), долговечность (время до наступления предельного состояния), сохраняемость (время сохранения работоспособного состояния объекта, выключенного из эксплуатации).

Отказ определяется в ГОСТ 27.002-89 как событие, заключающееся в наступлении неработоспособного состояния объекта, а по определению МЭК – как утрата объектом способности выполнять свои функции. Утрата может быть полной или частичной. Отказ – это центральное понятие теории надеж-



ности. Поэтому НД на надежность в технике обязывают четко определять и документально согласовывать критерии наступления отказов и предельных состояний объекта. Измерителями ПНР являются параметры законов распределения времени как случайной величины, например, вероятность работы без отказа в течение заданного времени, время безотказной работы при задаваемой предельной вероятности отказа и др. Использование ПНР как критериев свойств объектов позволяет проводить системный анализ объектов (ибо время – общий компонент всех ПНР объекта) и получать прогнозы их эволюции.

Совместное рассмотрение отказа, вероятности отказа и его последствий, ущерба от отказа привело к понятиям «критичности отказа» и «риска» («оценки степени риска»). Критичность отказа – совокупность признаков, характеризующих последствия отказа (ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. М.: Изд-во стандартов, 2002. 22 с).

Термин «риск» (риск – качественная или количественная характеристика объекта, устанавливаемая на стадии проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта (реконструкции) на текущий момент или при прогнозировании) используется тогда, когда существует хотя бы вероятность возникновения негативных последствий. Показатель критичности отказа – количественная характеристика критичности отказа, учитывающая его вероятность за время эксплуатации и тяжесть возможных последствий (ГОСТ Р 51901.1-2002).

Автомобильные дороги следует относить к сооружениям с повышенным уровнем ответственности, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям. Для таких объектов анализ критичности отказов (и, соответственно, рисков) обязателен. Особенно ценна возможность сопоставления различных объектов по рискам. Эта экономическая характеристика надежности объектов получила повсеместное распространение.

В 2002 г. принят Федеральный закон «О техническом регулировании», позже – еще две поправки к нему, в котором

устанавливается «оценка степени риска» как общая для всех объектов характеристика.

Согласно ГОСТ Р 51901.1-2002, анализ риска – это систематическое использование информации для определения источников и количественных оценок риска. Данный документ содержит общее описание различных методик анализа рисков. Поскольку выбор методик зависит от многих условий сбора информации и условий анализа, рекомендуется идти от простого к сложному.

Авторы этой статьи предлагают в рамках гармонизации применять совмещающее понятие **параметрического или проектного риска** как степень отклонения от требуемых или проектных показателей.

Так как установить непосредственную связь между функционированием АД и дефектами элементов можно далеко не всегда, систему разукрупняют на элементы с точностью до параметров, которые способны контролировать выполнение функций этого элемента – определяющих параметров. На всех уровнях иерархии для каждого объекта разукрупнения системы устанавливаются функции, выходные характеристики и критерии отказов. Результатом разукрупнения системы на элементы является построение структурно-функциональной модели (СФМ) АД. Жестких правил этой процедуры не существует и первыми логическими критериями служит выбор предпочтений между функциональными и конструктивными признаками объектов. Неудачный выбор затрудняет анализ последствий отказов. Следующий шаг – составление списка дефектов, оказывающих влияние на значения определяющих параметров. Такие дефекты называют фиктивными элементами СФМ.

Для каждого дефекта, способного вызвать отказ элемента, дается подробное описание «вида отказа», вызываемое этим дефектом. В понятие «вид отказа» включают внешние проявления, причины, механизм возникновения и стадии развития дефекта и другие признаки, кроме последствий отказа. Необходимо также дать описание видов ремонтных работ на различных стадиях развития дефекта.

Имея такую информацию, можно приступить к анализу влияния отказа на другие элементы СФМ. В зависимости от сферы влияния отказ может быть локальным, промежуточным или конечным. Конечный отказ непосредственно связан с отказом системы и является критическим отказом, а сам этот элемент – критичным элементом. **Одна из целей анализа вида и последствий отказов (АВПО)** – выявление критичных элементов системы. Промежуточные отказы вызывают отказы элементов старшего уровня иерархии или смежные с ним или же изменяют условия их работы, увеличивая вероятность отказов. В результате такого анализа «снизу – вверх» выявляются связи между отказами каждого компонента системы и строится «дерево отказов». Кроме того, при анализе получают сведения о природе процессов развития дефектов, необходимые для расчетов вероятностей отказов. На стадии АВПО проводят предварительную количественную оценку и ранжирование отказов объектов по тяжести их последствий, а также предварительную качественную оценку ожидаемой (наблюдаемой) частоты наступления отказов разных категорий тяжести при эксплуатации объекта.

Критичность отказа представляет собой совокупность признаков, характеризующих последствия отказа. Показатель критичности отказа – количественная характеристика критичности отказа, учитывающая его вероятность за время эксплуатации и тяжесть возможных последствий. Анализ вида, последствий и критичности отказов (АВПКО) – процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности.

Проведение АВПКО не отменяет необходимости выполнения расчетов надежности объекта – в соответствии с общими требованиями ГОСТ 27.301-95. Эта задача решается в рамках разрабатываемых методов гармонизации старой и новой системы технического регулирования. Значения вероятностей отказов, учитываемые при оценке их критичности, рассчитывают (прогнозируют) принятыми в расчетах надежности методами с учетом структуры объекта, уровней нагруженности и режимов работы его элементов по имеющимся справочным или экспериментальным данным об их надежности. Заметим,

что получение исходных данных, выбор методов расчета и оценка их точности для эксплуатируемых объектов сложнее, чем при их проектировании. Это должно учитываться при обследованиях АД и АВПО. Примеры ранжирования вероятностей отказов по видам отказов, имеющиеся в литературе, существенно разнятся между собой, что лишней раз подчеркивает необходимость выработки таких данных применительно к каждому объекту, в том числе и к АД.

Оценки критичности отказов при АВПКО нуждаются в показателе размера возможного ущерба в результате наступления каждого из ожидаемых последствий отказов. В расчетах и оценках рисков дополнительно применяют математическое ожидание размера ущерба. НД указывает на возможность применения средневзвешенного (по условным вероятностям проявления последствий отказа) ущерба от него. Не исключено также применение балльных оценок возможного ущерба от отказов с использованием шкалы, разработанной применительно к АД и установленной в методике их АВПКО. Примеры возмож-

ной шкалы балльных оценок критичности отказов приведены в следующих ГОСТах: ГОСТ Р 51901.1-2002 и ГОСТ 27.310-95. Разработка шкалы для АВПКО и расчета рисков АД выявила сложности увязки данных о балльной оценке вероятностей отказов с оценками последствий отказов и оценкой вероятности обнаружения отказа.

Собрана нормативная база по надежности и риску в технике, в особенности в связи с появлением ГОСТ Р 51901.1-2002, который применим для многих отраслей и типов технических систем, и, в частности, использует и развивает методы АВПО и АВПКО, разработанные ранее. Однако для анализа рисков АД одной нормативной базы мало. Все решит практическая работа на эксплуатируемых сооружениях. Используя результаты АВПКО можно уточнять критерии отказов объекта, модели, которые будут приняты для расчета его надежности, решения задач содержания технического обслуживания и ремонта. Можно также построить имитационную модель для АД на конкретный вид работ с учетом функциональной надежности.

Математическая постановка задачи включает формализацию целевой функции и ограничений. С учетом многокритериальности задачи необходимо найти решение, доставляющее экстремум нескольким целевым функциям, объединяющим технико-экономические критерии; надежность выполнения плана работ по содержанию (эксплуатации) или ремонта; множество номеров объектов работ, задающее приоритеты объектов; множество моментов начала работ на объектах; множество длительностей выполнения работ; множество заделов, создаваемых перед каждой работой.

Для решения задачи можно воспользоваться методом многокритериальной оптимизации, разработанным В.С. Михайловичем и В.Л. Волковичем в Институте кибернетики АН УССР.

**Н.В.Рапопорт, к.т.н.,
П.Б.Рапопорт, к.т.н.,
Н.Е.Коколеева, к.т.н.,
А.В.Кочетков, д.т.н.,
Н.А.Хухрянская**