

Конференция IABMAS'06-Porto-Portugal

Международная Ассоциация IABMAS (International Association for Bridge Maintenance And Safety) основана в 1999 году с целью накопления и обмена международным опытом в сфере эксплуатации, ремонта и содержания автодорожных мостовых сооружений (<http://www.iabmas.org>).

16-19 июля 2006 в г. Порто (Португалия) прошла очередная Международная конференция IABMAS'06-Porto-Portugal (<http://www.iabmas06.com>).



Работы Компании AGA Group, Inc. были представлены докладами: «Прогноз и анализ износа мостов в г. Москве» ([Prediction and analysis of deterioration of Moscow bridges](#)), в соавторстве с ГУП ДЗ «Гидромост», а также «Мобильные измерительные системы применительно к мониторингу мостовых сооружений» ([Use of Mobile Measuring System for Bridge Monitoring](#)) в соавторстве с ГУП «Гормост».

Работа конференции происходила в 8 тематических секциях и пленарных заседаниях, всего было сделано более 100 докладов, охватывающих различные аспекты и проблемы

эксплуатации мостов. В ракурсе деятельности по разработке Систем оптимального менеджмента городских инженерных сооружений (СОМ «Гидромост»), нас интересовала, прежде всего, работа секций «Системы управления эксплуатацией мостовых сооружений» и «Инспекции и прогнозы технического состояния». Было важно понять, на каком уровне находится разрабатываемая нами СОМ «Гидромост» и сопоставить реализуемые методы и возможности Систем управления в развитых странах.

В целом, из докладов очевидно, что СОМ «Гидромост» существенно превосходит аналогичные системы по техническому уровню, и это превосходство обусловлено, прежде всего, следующими факторами:

- a) Методические аспекты
 - i) Многоуровневая структуризация сетей и объектов;
 - ii) Возможность проведения детальной инспекции, основанной на пополняемом каталоге СЭ при дифференцированной оценке их состояния по принципу «конструкция-материал-покрытие»;
 - iii) Наличие модулей корректировки деградационных моделей и контроля качества инспекции;
 - iv) Вычисление индексов технического состояния (ИТС) не только для объектов, но и для сетей, равно как и для структурных единиц;
 - v) Создание интерактивных инспекционных схем;
 - vi) Предоставление Пользователю возможности самостоятельно, без участия разработчиков, сформировать номенклатуру паспортных данных и атрибутов структурных элементов сооружений;
 - vii) Наличие модуля контроля исполнения производственных планов и хода выполнения работ;
 - viii) Широкое применение методов математической статистики для постоянной автоматической коррекции исходных данных для расчета по фактическим материалам.
- b) Аспекты реализации программы
 - i) Наличие сетевой версии;
 - ii) Использование технологии “thin client”;
 - iii) Использование регулярно обновляемого интерактивного картографического приложения;
 - iv) Использование регулярно обновляемого сметного модуля и его прямая связь с генеральным каталогом
 - v) Использование ISD модуля.
 - vi) Независимость пользовательского интерфейса от базы данных и дополнительных приложений (картографического, разработчика инспекционных схем и т.п.)

Очевидное превосходство COM над аналогичными системами (например, Pontis, BRIDGIT, DANBRO) может быть дополнительно подтверждено данными презентаций и докладов, посвященных разработке и внедрению этих систем. В самом деле, многие из них содержат в некоторой (а иногда – и в полной) мере, отдельные принципы и инструменты COM. Но ни одна не содержит весь комплект этих инструментов.

Основное преимущество Технологии Оптимального Менеджмента AGA состоит в возможности адекватной оценки состояния объекта и, соответственно, обоснованного планирования ремонтно-реабилитационных мероприятий (PPM). Эта возможность обусловлена прежде всего дифференцированной оценкой технического состояния стандартных элементов и их совокупностей, что позволяет сузить диапазон рассматриваемых механизмов деградации и получить корректные зависимости износа объекта от времени. Напротив, интегральная оценка состояния конструкций, принятая в мировой практике, вследствие разнообразия независимых механизмов деградаций приводит к слишком большим разбросам значений и делает практически невозможной получение каких-либо корректных зависимостей. В итоге практически все зарубежные системы управления базируются на Марковских моделях износа и среднестатистических показателях, что на современном уровне развития уже не удовлетворяет потребностей планирования.

Этот недостаток еще не в полной мере осознается аудиторией, но в ряде докладов можно было услышать сожаления по поводу невозможности получения корреляций интересующих параметров и потребительских свойств.

Преимущество наших методов оценки состояния открывает целый спектр дополнительных возможностей комплексного планирования, который пока в полной мере не осознан даже разработчиками, но создает хорошую базу для дальнейшего развития Систем управления, в том числе с учетом следующих соображений, прозвучавших в докладах участников конференции и возникшие по ходу обсуждений:

В докладе E. Spallarossa, Italy “The 1st regional level bridge management system application in Italy” представлен опыт использования BMS “Pontis” (США) в регионе Генуи (Италия). Подчеркивается понимание и согласие менеджерами и властями необходимости управления эксплуатацией мостов на базе минимизации параметра “life cycle cost” - LCC (удельная стоимость эксплуатации сооружений за весь срок службы), что, видимо, предопределило выбор властей BMS “Pontis”. Дополнительно BMS используется также для целей “pavement management” (управление состоянием дорожного покрытия). Этот факт свидетельствует о намечающейся в среде пользователей тенденции не ограничиваться управлением эксплуатации только мостами, а по возможности охватить все виды и типы подведомственных объектов транспортной инфраструктуры.

Далее в докладе отмечено, что существенной частью процесса внедрения является обучение инспекторов методологии Pontis по оценке технического состояния мостов, на основе

перевода принятой в Италии «рейтинговой» оценки состояния мостов в 5-ти бальной шкалу Pontis. В будущем планируется создать систему модификации деградационных моделей (ДМ) на основе исторического опыта.

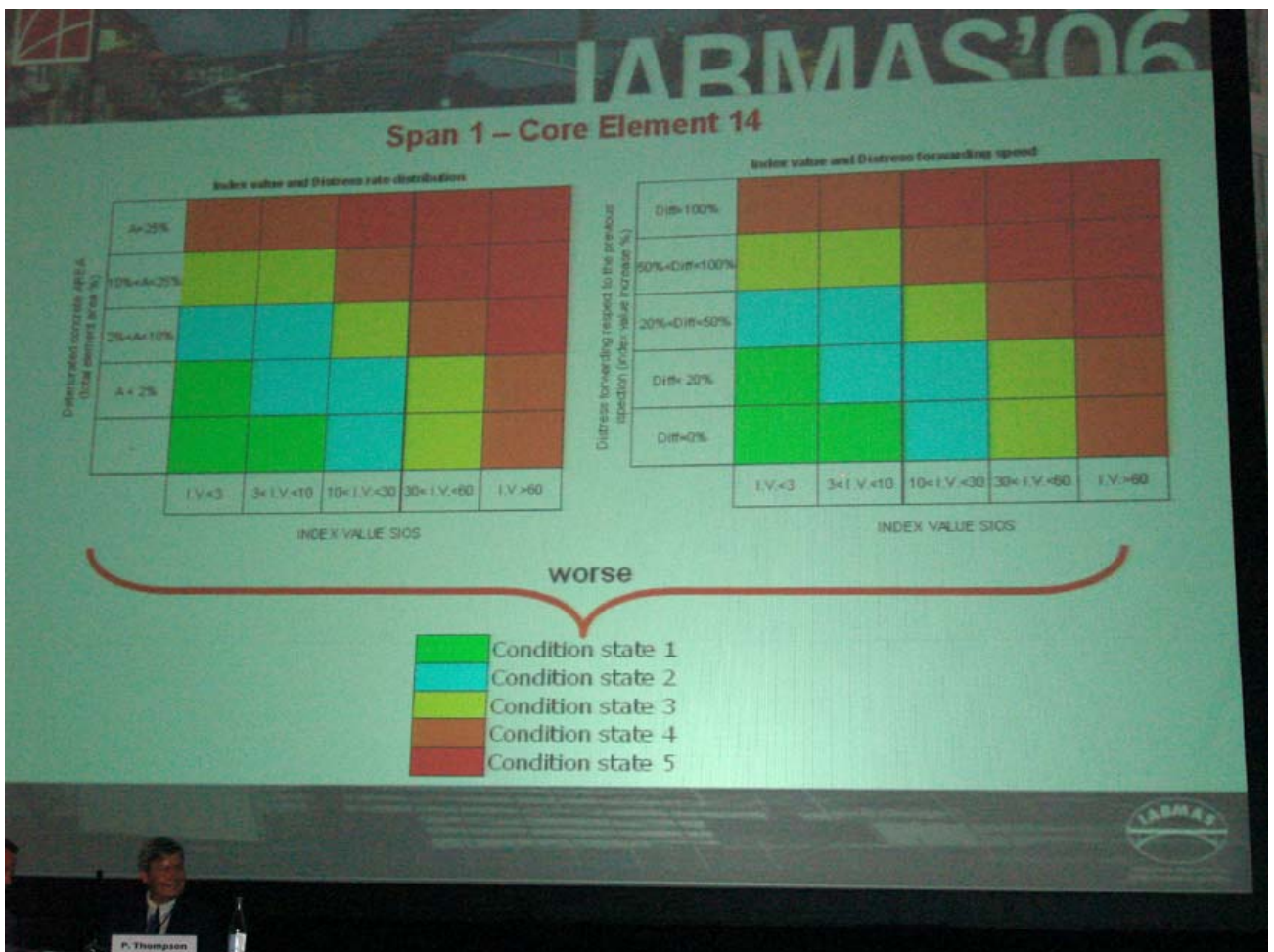
Sineco system bridge representation

Element inspection form

for each element in each span the deteriorated area is recorded and the index value is calculated.

SPAN N°5
LOWER SLAB SIDE

	LOW	MEDIUM	HIGH
CLASS 1 DISTRESS	13.00		
<input type="checkbox"/> Efflorescences			
<input type="checkbox"/> Rust presence			
<input type="checkbox"/> Patched Areas	16.20		
<input type="checkbox"/> Salt presence			
<input type="checkbox"/> Surface delaminations	8.80		
<input checked="" type="checkbox"/> Washing			
CLASS 2 DISTRESS			
<input checked="" type="checkbox"/> Delaminations	1.13	0.84	
<input type="checkbox"/> Spalling	0.20		
<input type="checkbox"/> Concrete shattering			
<input type="checkbox"/> Surface cracks			
<input type="checkbox"/> Permeation			
<input type="checkbox"/> Seepage			
CLASS 3 DISTRESS			
<input type="checkbox"/> Steel reinforcement exposure	2.36		
<input type="checkbox"/> Detachments	0.41		
<input type="checkbox"/> Passing cracks			
<input type="checkbox"/> Prest. reinforcement exposure			
OVERALL EVALUATION	12.97		

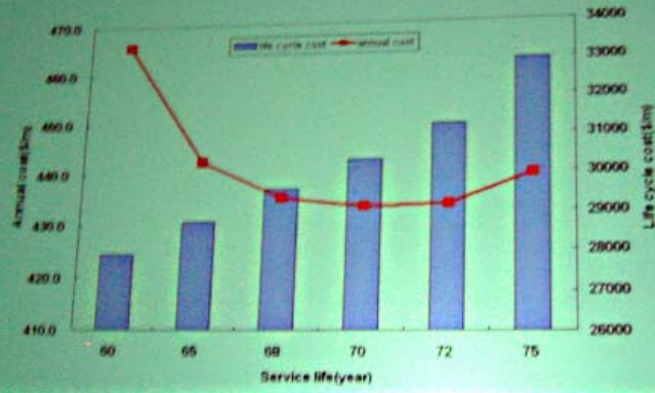


Заметим, что в настоящее время данные задачи уже решены в СОМ «Гидромот», которая имеет в своем составе модуль анализа результатов инспекций и коррекции ДМ. Кроме того, адаптивный модуль инвентаризации и система пополняемых каталогов позволили сделать объектами управления все подведомственные ГУП ДЗ «Гидромот» сооружения: не только мосты, но также тоннели, водостоки, коллекторы, набережные и другие сооружения.

В докладе Y. S. Shin et al, Korea “Life cycle cost optimization of a bridge superstructure considering management history” теоретически предсказывается существенная потеря несущей способности мостов за 30-40 лет эксплуатации (см. фото), но фактические результаты эксплуатации ее не подтверждают, хотя утверждается противоположное. Данное заключение хорошо согласуется с нашими наблюдениями по износу инженерных сооружений в г. Москве. Следует также отметить, что предлагаемый в данной работе к внедрению критерий оптимизации - минимум эксплуатационных затрат за весь срок службы сооружения - является основным критерием СОМ «Гидромот», принятым еще в 2001 году.

IABMAS'06

Annual costs of optimal bridges



Life Cycle optimization of a bridge superstructure considering maintenance history

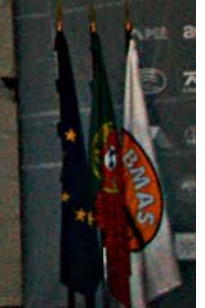


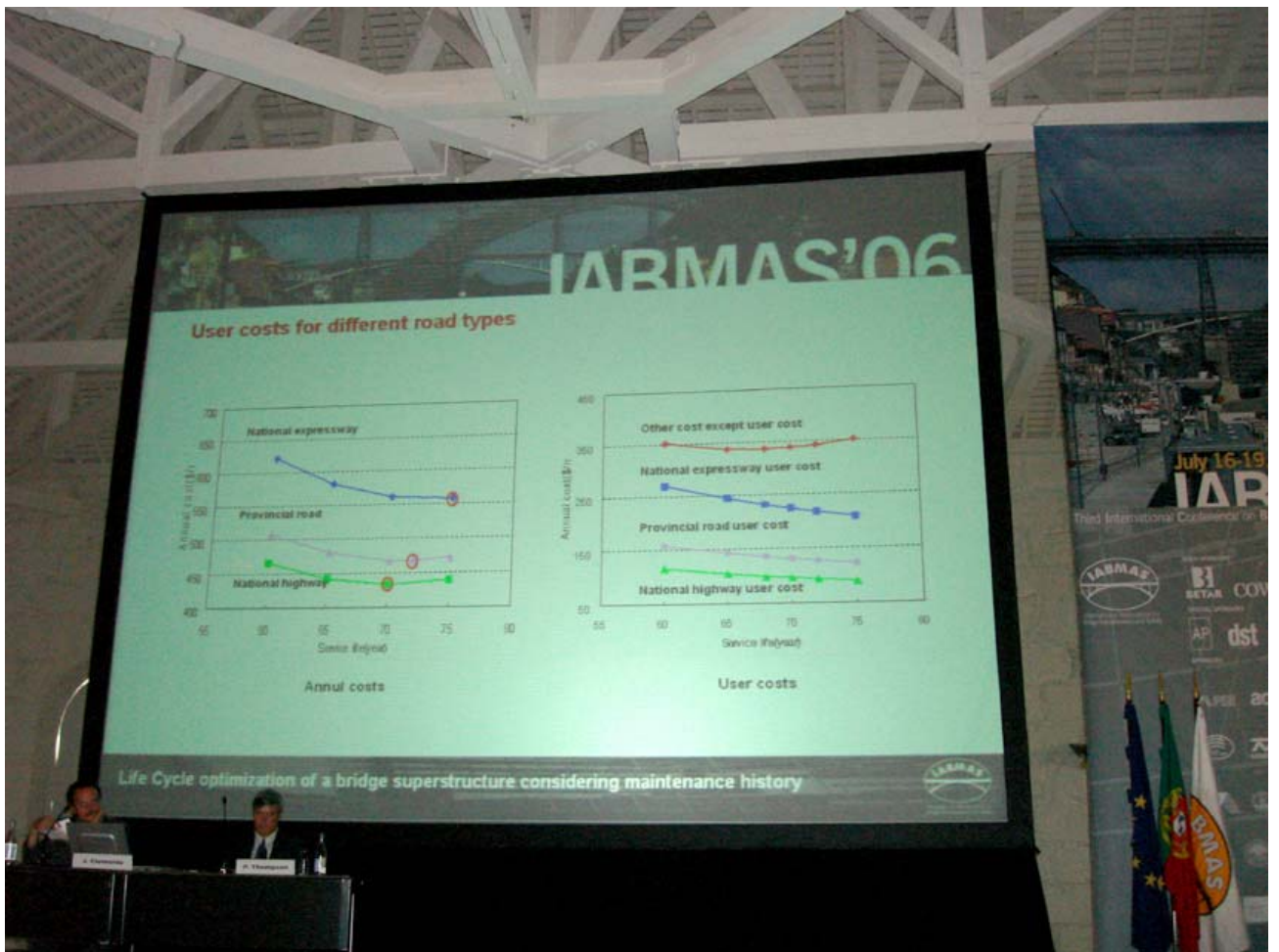
J. C. Gonzalez

P. Thompson

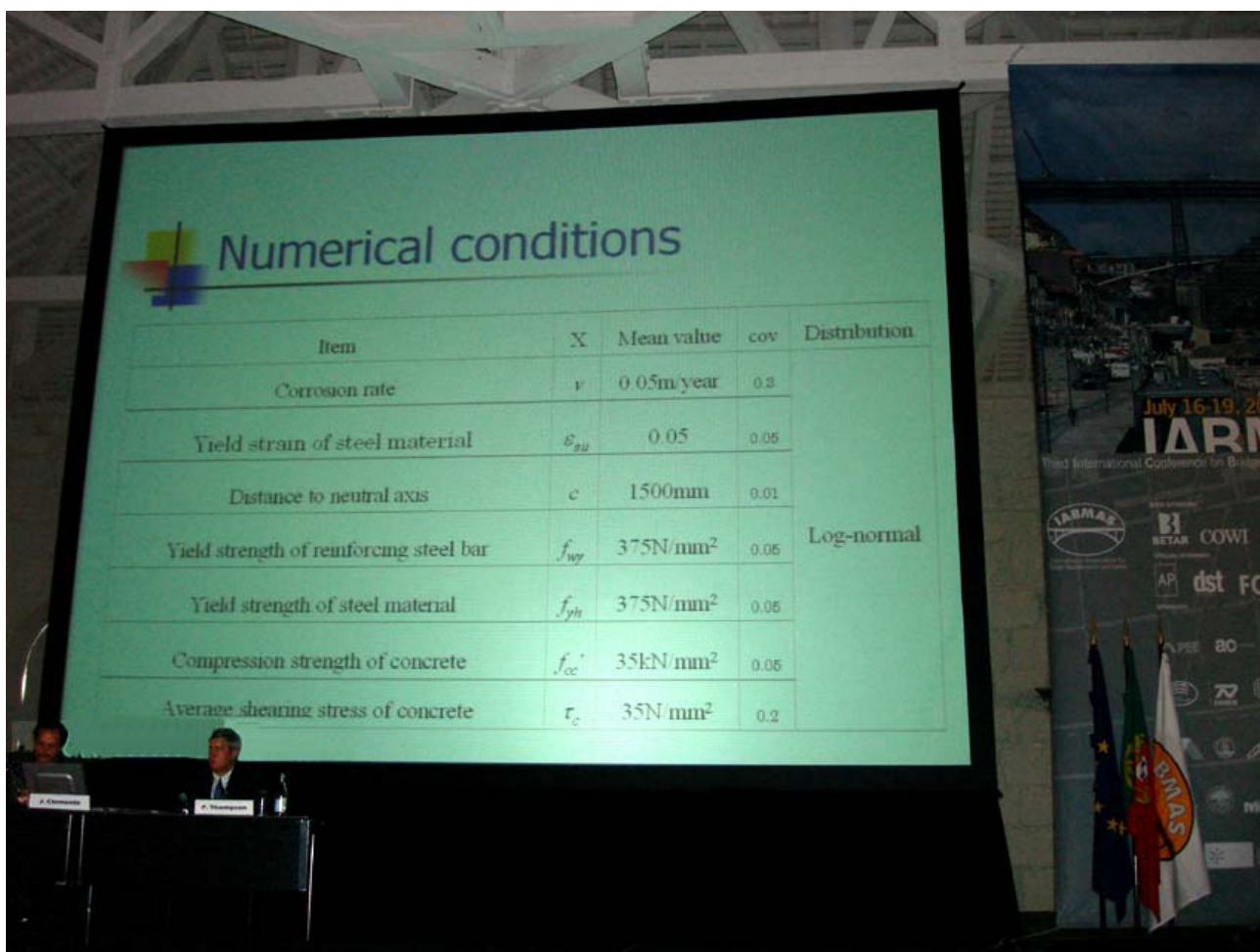


July 16-19
IABMAS





В докладе Т. Кiiке & I. Аоки “Optimal Maintenance strategies for existing infrastructures under seismic risks” приведены данные об интенсивности деградации, в частности – коррозии арматуры (до 0.5 мм/год, с коэффициентом вариации 30%) (см.фото ниже). Отмечается, что коррозия арматуры является одним из основных причин износа железобетонных мостов, а показатели скорости деградации подчиняются логарифмически нормальному закону распределения.



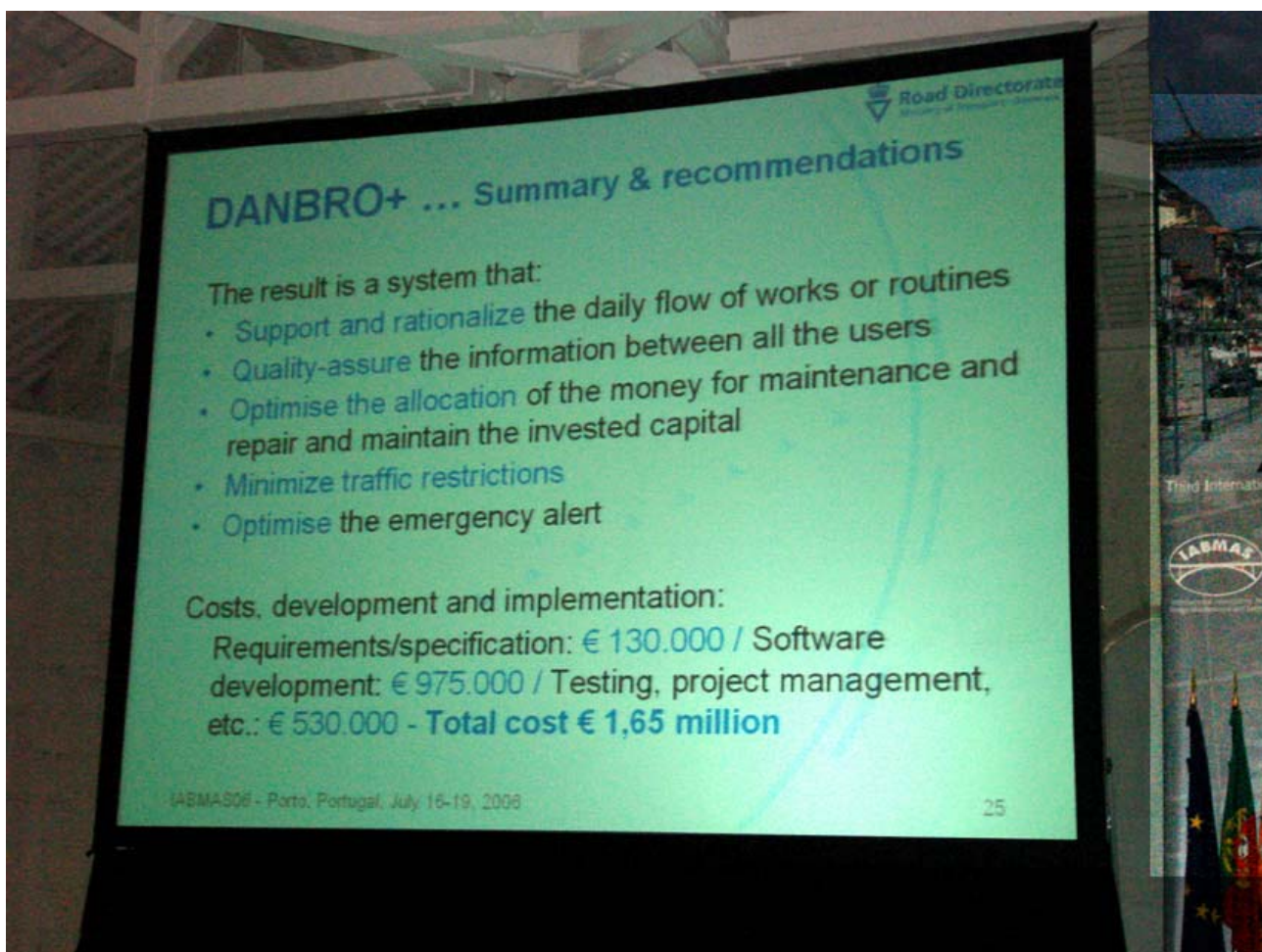
Данное заключение хорошо согласуется с нашими наблюдениями по износу инженерных сооружений в г. Москве.

В докладе M. I. Rafiq et al “Predictive SHM supported deterioration modeling of reinforced concrete bridges”, секция «Integration of bridge management & bridge monitoring», делается вывод о существенном влиянии точности прогноза технического состояния на принятие решений по РРМ и предлагается уточнять деградационные модели с помощью средств мониторинга. При этом утверждается, что затраты на мониторинг окупаются за счет оптимизации РРС с использованием уточненных ДМ.

Методика коррекции ДМ с учетом данных инспекций реализована в СОМ, и актуальность ДМ поддерживается автоматически

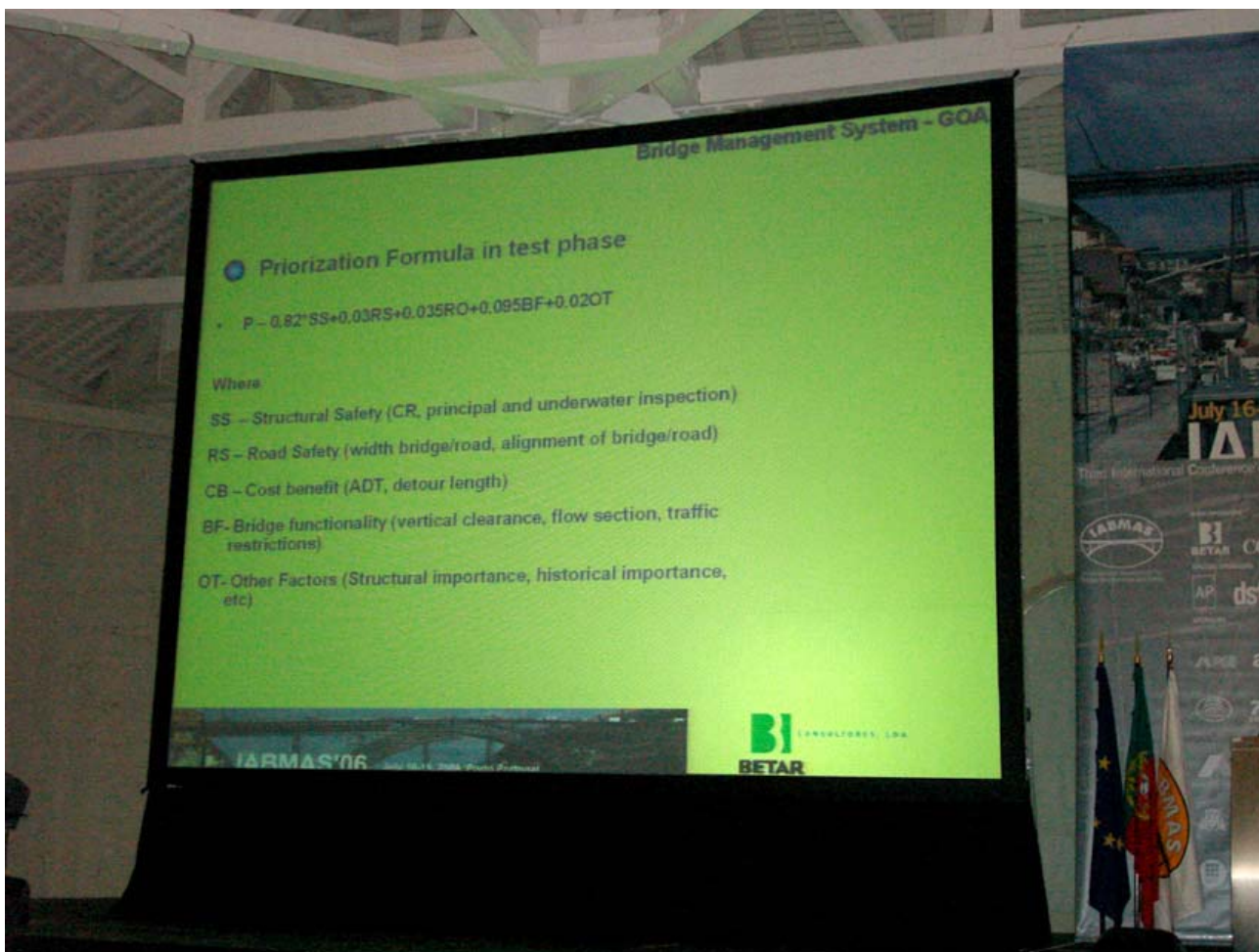
Доклад J. Bierrum, F. M. Jensen “Internet-based management of major bridges and tunnels using DANBRO+system” посвящен Системе управления «DANBRO+system». По своей архитектуре DANBRO+system относится к «жестким» системам типа Pontis и СУМ-1.0. Она содержит около 400 форм и может генерировать до 80 видов отчетов. Интернет-базирование трактуется как революционное новшество. Декларируется такое преимущество ВМС, как возможность

«минимизации ограничения движения». Разработка представленной Интернет-версии обошлась \$2,095,000 , в том числе внедрение – 30%.



Следует особо отметить, что возможность размещения информации о транспортных сооружениях, в том числе таких, как мосты, тоннели и дамбы, ни у авторов, ни у слушателей сомнений не вызывает. Открытость информации способствует только росту доверия населения к эксплуатационным службам.

Доклад Т. Р. Mendoca et al “BMS “GOA” посвящен BMS Португалии. Она основана на системе рейтингов, достаточно проста, но не обеспечивает возможность планирования на основе объективной оценки технического состояния. Тем не менее, интересна система приоритизации стратегии на основе экспертной формулы, учитывающей конструктивную безопасность, безопасность движения, ущерб у потребителя (объезды и т.д.), функциональность сооружения (грузоподъемность, пропускная способность и т.п.) и другие соображения, типа исторической значимости.



В СОМ «Гидромост» используется понятие «значимость» сооружения или его элементов, которые определяются величиной ущерба потребителя при их отказе. Существует также понятие «уровень ответственности» сооружения, который определяется с учетом места расположения объекта и значимости пересекаемых им дорог. Однако эти показатели действуют независимо друг от друга, и было бы целесообразно рассмотреть возможность обобщенного расчетного (вычисляемого) показателя значимости, подобного BMS “GOA”.

В докладе А. Orcesi & С. Cremona. “Optimization of reinforced concrete bridge maintenance by Markov chains” констатируется весьма значительный разброс характеристик износа для сооружений одного возраста. Однако, вместо правильного вывода о необходимости учета различий в качества строительства и условий эксплуатации, предлагается рассматривать процесс износа как Марковский. В результате оптимизация может быть сделана лишь по сети и то при условии рассмотрения очень большого количества сооружений.

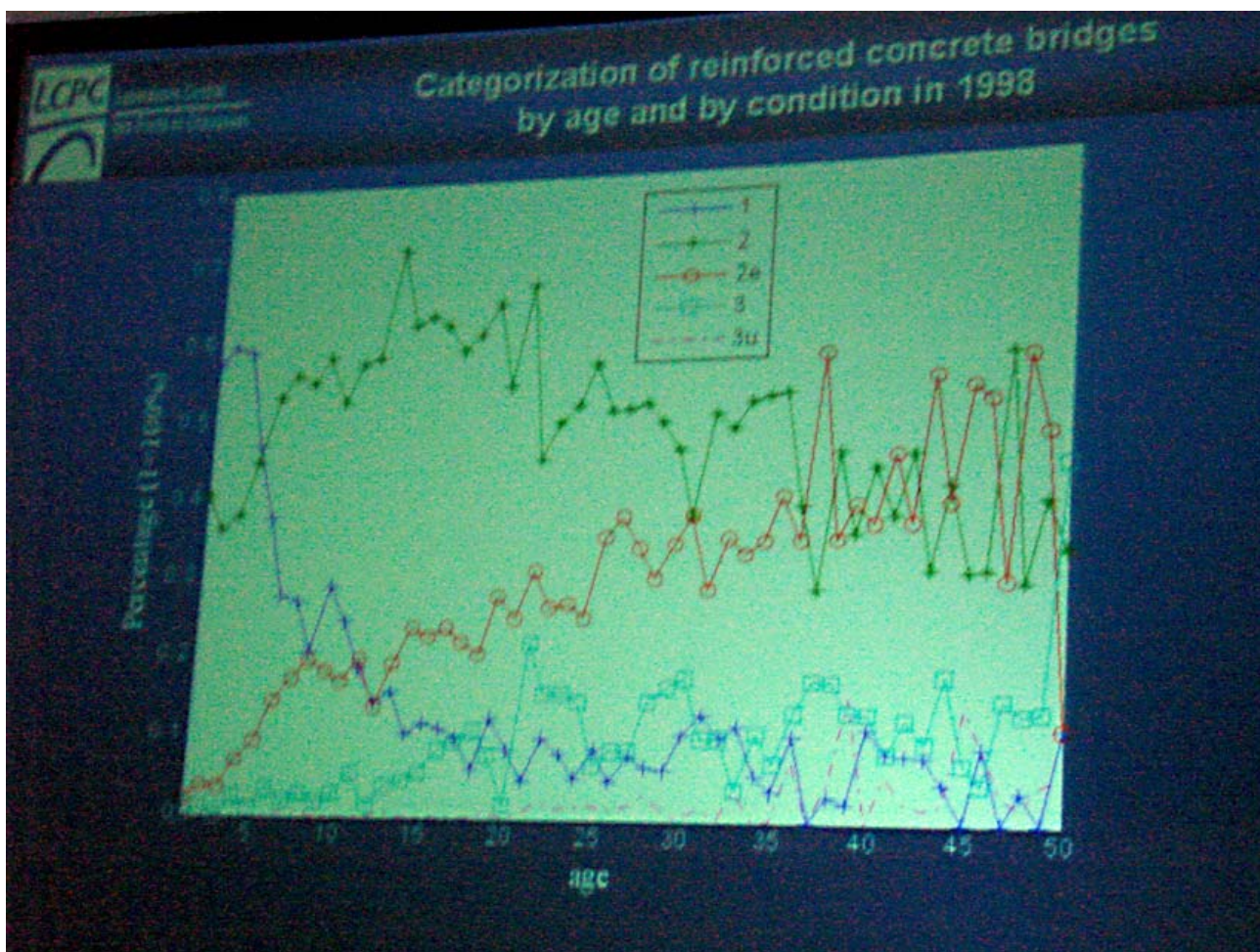


Markov chains

Objective : Model the transition from one condition to another without any law of deterioration of the bridges.

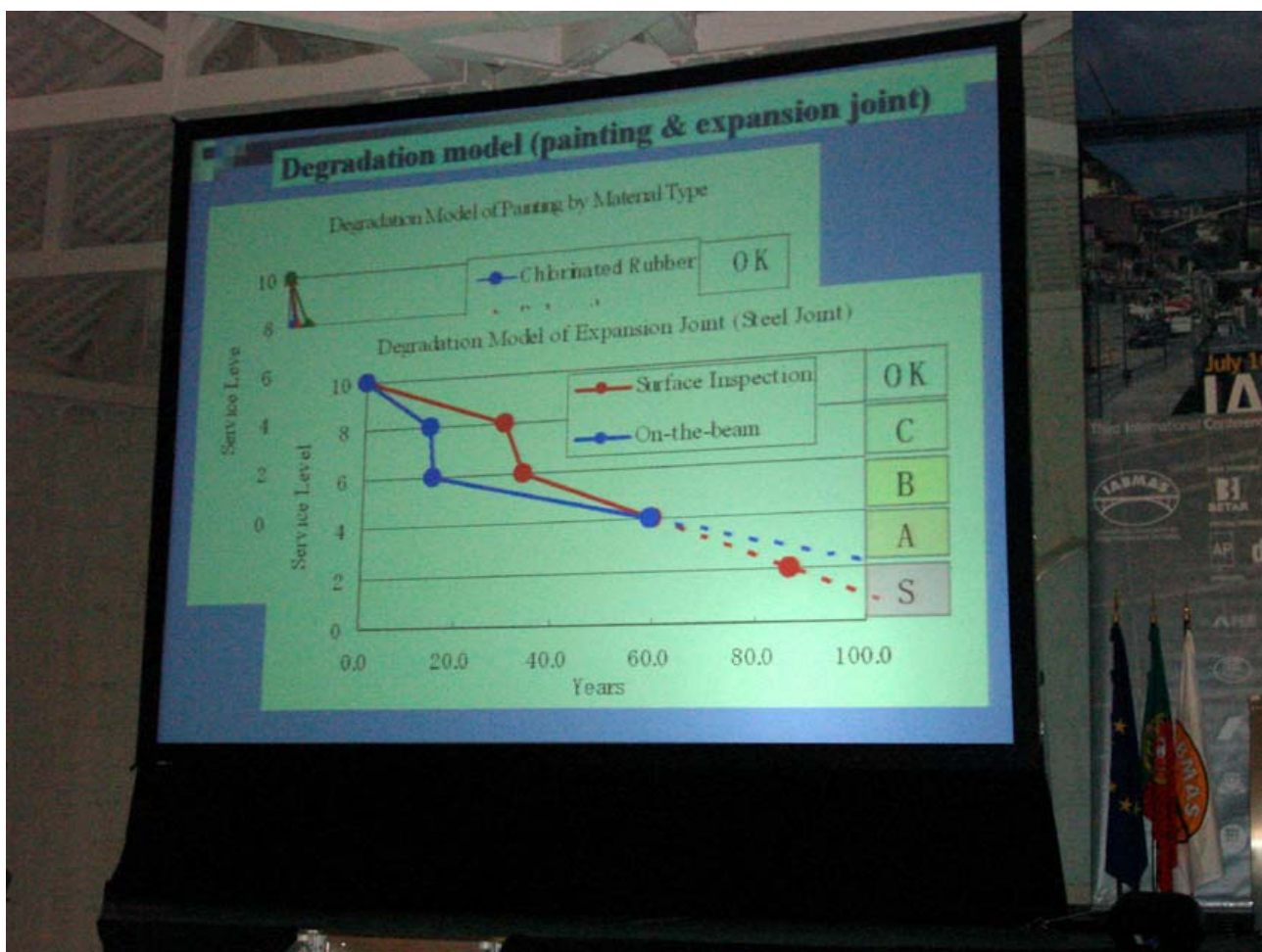
Driving research across networks





В докладе M. Nishibayashi et al "Toward more practical BMS" its application on actual budget and maintenance planning of a large urban expressway network in Japan" содержатся интересные количественные данные о затратах на эксплуатацию мостов государственной дорожной сети. В частности, утверждается, что на окраску мостов и замену деформационных швов затрачивается 41% ремонтного бюджета. Для инспекции используется «рисованная» инспекционная схема, подобная той, что применяется в СУМ г. Москвы 1-го поколения. Прогнозирование долговечности и разработка стратегии производится на основании Марковских моделей. В результате во многих случаях получаются совершенно нереальные данные, как-то: долговечность асфальта - 30 лет, деформационных швов - 60 лет, краски - 100 лет и т.п. В среднем по всей сети дорог корреляция между предсказанной и актуальной стоимостью ремонтов более или менее присутствует, но для каждой конкретной сети ошибка очень велика (на уровне сооружений данные даже не представлялись). Делается вывод о необходимости пополнения базы данных. Идея коррекции ДМ пока еще даже не обсуждается. Интересно, что установлен оптимум срока службы сооружения по фактору LCC, и кривые срока службы качественно верны, но перейти к практическим рекомендациям пока не удастся из-за больших разбросов данных. Подчеркивается, что BMS успешно используется для

минимизации транспортных задержек в городе совместно с использованием симуляционных транспортных программ.

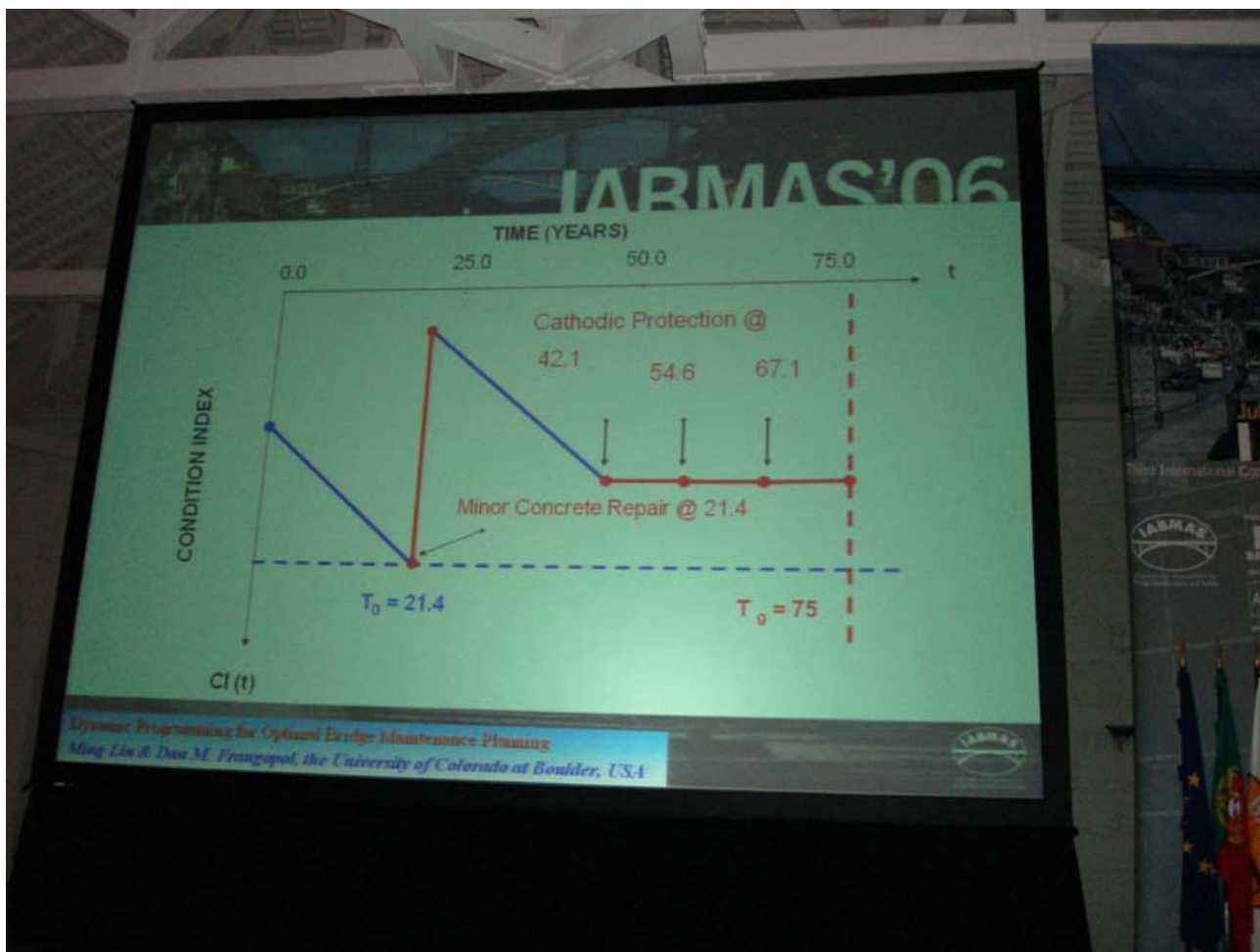


Аналогичная задача поставлена и реализована в СОМ «Гидромост», в котором предусмотрен т.н. транспортный модуль. Он имеет своей целью оценку ущерба потребителя в расчетах показателей значимости сооружений и затрат на организацию движения при их ремонте. Данный модуль содержит основные транспортные показатели городской сети, включая состав и интенсивность движения.

Доклад М. Liu, D. Frangopol “Dynamic programming for optimal bridge management planning” отражает концепцию анализа индекса технического состояния, в целом соответствующую изложенной в докладе по СУМ г. Москвы на конференции в Орlando в 2003 году (AGA Group, МГРП правительства Москвы, ГУП «Гормост»). Вместе с тем есть целый ряд дополнительных интересных соображений, как-то: рассматривается не только индекс технического состояния сооружений (ИТС), но и «Индекс безопасности». Правда, не вполне ясно, что это такое и как определяется. Вместе с тем, отсутствие адекватной конкретной инспекционной информации и использование Марковских моделей приводит к «среднебольничному» эффекту и, в результате, качественно верные кривые сопровождаются количественно нереальными рекомендациями, например, срок службы моста до замены

определяется по темпу снижения ИТС в размере 21 год, а по темпу снижения индекса безопасности – 35 лет. И то и другое слишком мало, особенно учитывая конкретное качество строительства и интенсивность движения на дорожной сети Колорадо.

Высказывается интересное и справедливое соображение о том, что РВ может не только восстанавливать СЭ, но и просто замедлять процесс дальнейшей деградации.

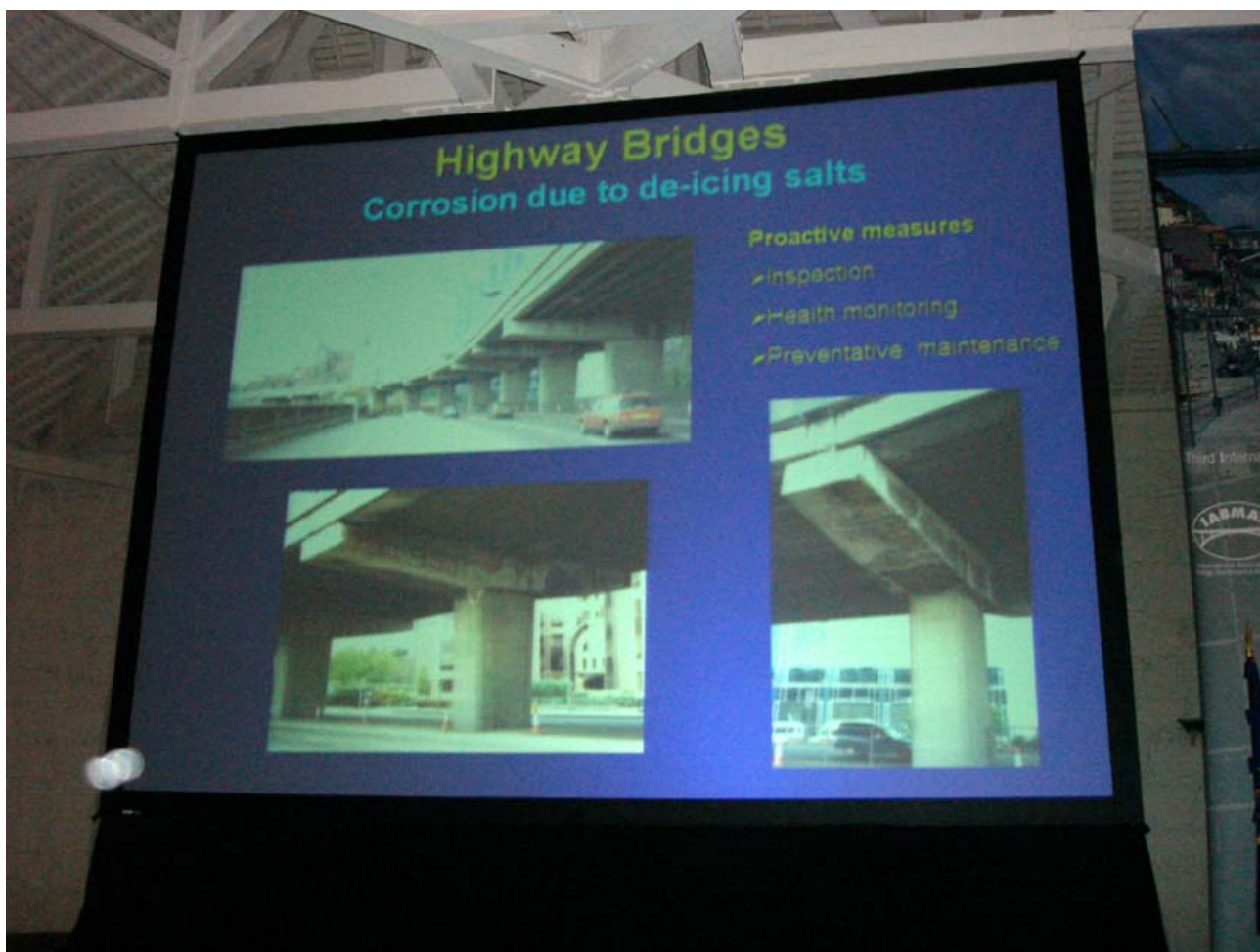


По поводу последнего необходимо отметить, что применение Марковских ДМ не позволит смоделировать эффект замедления износа. В то же время, в концепции СОМ такая возможность имеется, и ее целесообразно реализовать.

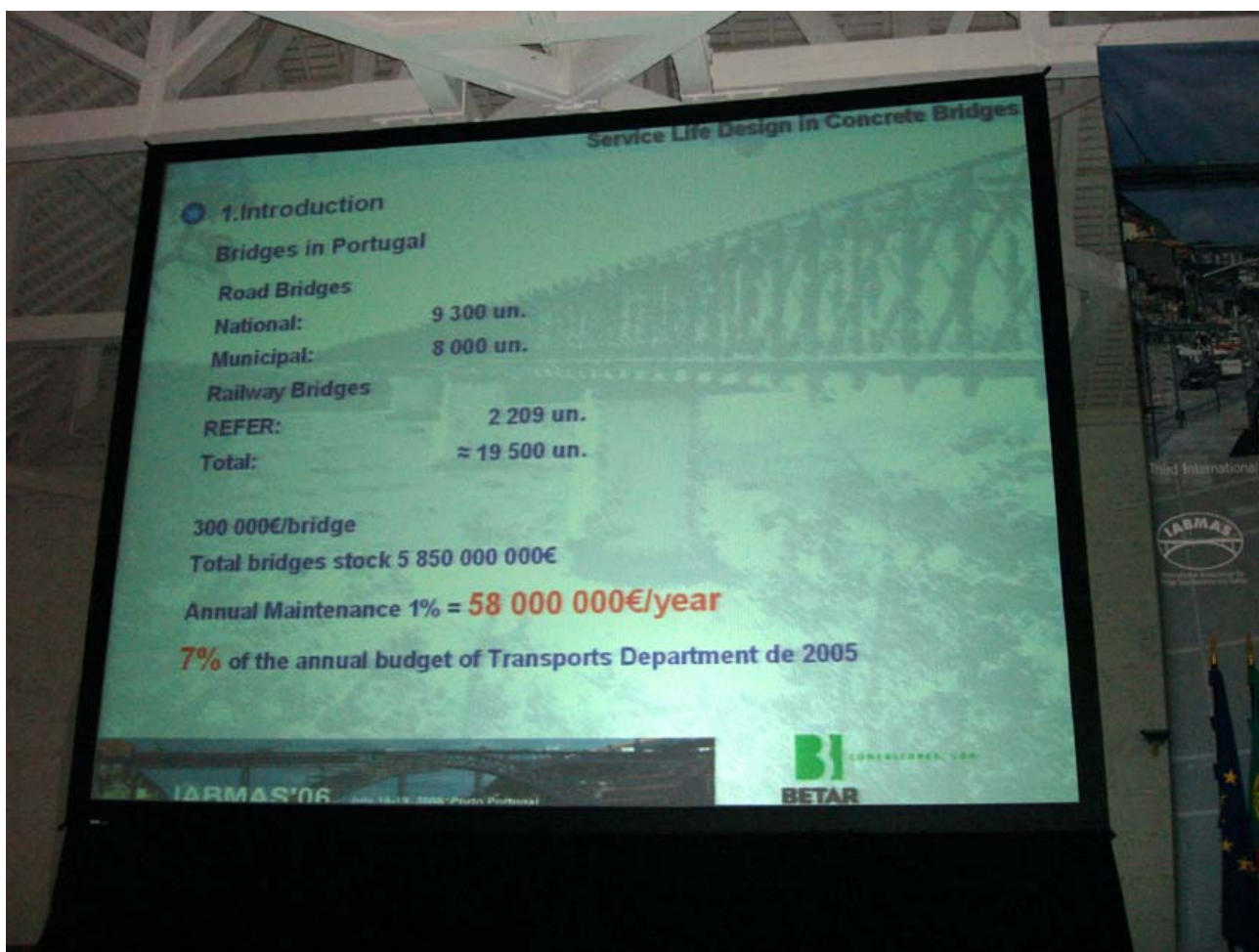
Что касается заслуживающих внимания «индекса безопасности» и вообще любого индекса потребительских свойств, используемых различными Системами управления, то методика СОМ «Гидромост» позволяет решить и эту задачу на основании показателя значимости конструктивного элемента и сооружения в целом, которые используются в расчетах ИТС и определяются с учетом величины ущерба владельца и потребителя. Так, например, «индекс безопасности» карниза может быть принят с учетом ущерба владельца транспортного средства, поврежденного отвалившимся от карниза куском бетона.

В докладе В. Т. Adey et al “Optimal long term single stage intervention strategies for road bridges” предлагается абсолютно верное, содержащиеся также и в СОМ «Гидромот», но совершенно неочевидное для многих в настоящее время соображение: определение оптимума краткосрочных затрат должно базироваться на предварительной оптимизации LCC. Подтверждается, что именно климатические, а не силовые повреждения преобладают в механизмах деградации мостовых конструкций. Вообще, эта закономерность, впервые высказанная в нашей статье (Журнал «Транспортное строительство», 2003), теперь признается большинством исследователей. Предлагается количественная зависимость стоимости полного восстановления от периодичности ремонта сооружения.

Доклад Е. А. Tantele et al “Optimization of preventive maintenance strategies for bridges” также подтверждает тот факт, что именно климатические, а не силовые повреждения преобладают в общей картине отказов. Показано, что деградация за счет коррозии подчиняется нормальному распределению. Демонстрируются экспериментальные зависимости вероятности отказа от применяемых мер по защите от коррозии, которые хорошо коррелируются с приведенным в докладе М. Liu, D. Frangopol тезисом о том, что некоторые РВ замедляют процесс деградации.



В докладе Т. Р. Mendoca “Service life design in concrete bridges” приводятся интересные данные о стоимости мостов в Португалии, а также о том, что затраты на их обслуживание составляют 1% стоимости (не балансовой, а фактической) в год. Приведены результаты анализа по конкретным путепроводам, показывающие, что учет эксплуатационных соображений (в т.ч. LCC) на стадии проектирования позволяет снизить стоимость строительства до 10% и NPV (текущую накопленную стоимость) на 20-30%. При этом показана, что LCC составляет 120-180% от стоимости строительства. Приведены интересные данные о долговечности некоторых СЭ. В частности, 61% деформационных швов выходит из строя в течение 6 лет, а 89% - в течение 10 лет, что хорошо коррелируется с данными доклада М. Nishibayashi et al, а также результатами инспекции деформационных швов в Москве.





В докладе P. S. McCarten "Bridge condition and health measures for needs analysis", секция "Inspection & prediction of structural performance" представлен опыт изучения ИТС и «индекса безопасности» мостовой сети в Канаде за 5 лет. Констатируется большой разброс данных по ИТС, что соответствует и нашим наблюдениям. Однако делается вывод не о необходимости более детального изучения условий работы и поиска соответствующих закономерностей, а о невозможности прогнозирования сроков службы из-за недостатка статистических данных. Ищутся взаимосвязи между сроком службы мостов и уровнем финансирования ремонта. Общность приведенных данных спорна, очевидно, что абсолютные значения зависят от особенностей мостовой сети, в т.ч. от возраста. Тем не менее, принципиальное наличие такой взаимосвязи можно считать экспериментально доказанным для конкретного случая Британской Колумбии. Утверждается, что финансирование РРМ на уровне 0.5% позволяет обеспечить долговечность 75 лет, а вот 0.35% только поддержит сеть в работоспособном состоянии.

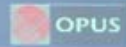
July 16-19, 2006 PORTO-PORTUGAL
IABMAS'06
 Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management

Cost Data Analysis continued

Bridge Rehabilitation Investment (% of Replacement Value)



Condition Indicator (Slope of SCI trendline normalised to the 86/97 SCI trendline slope)

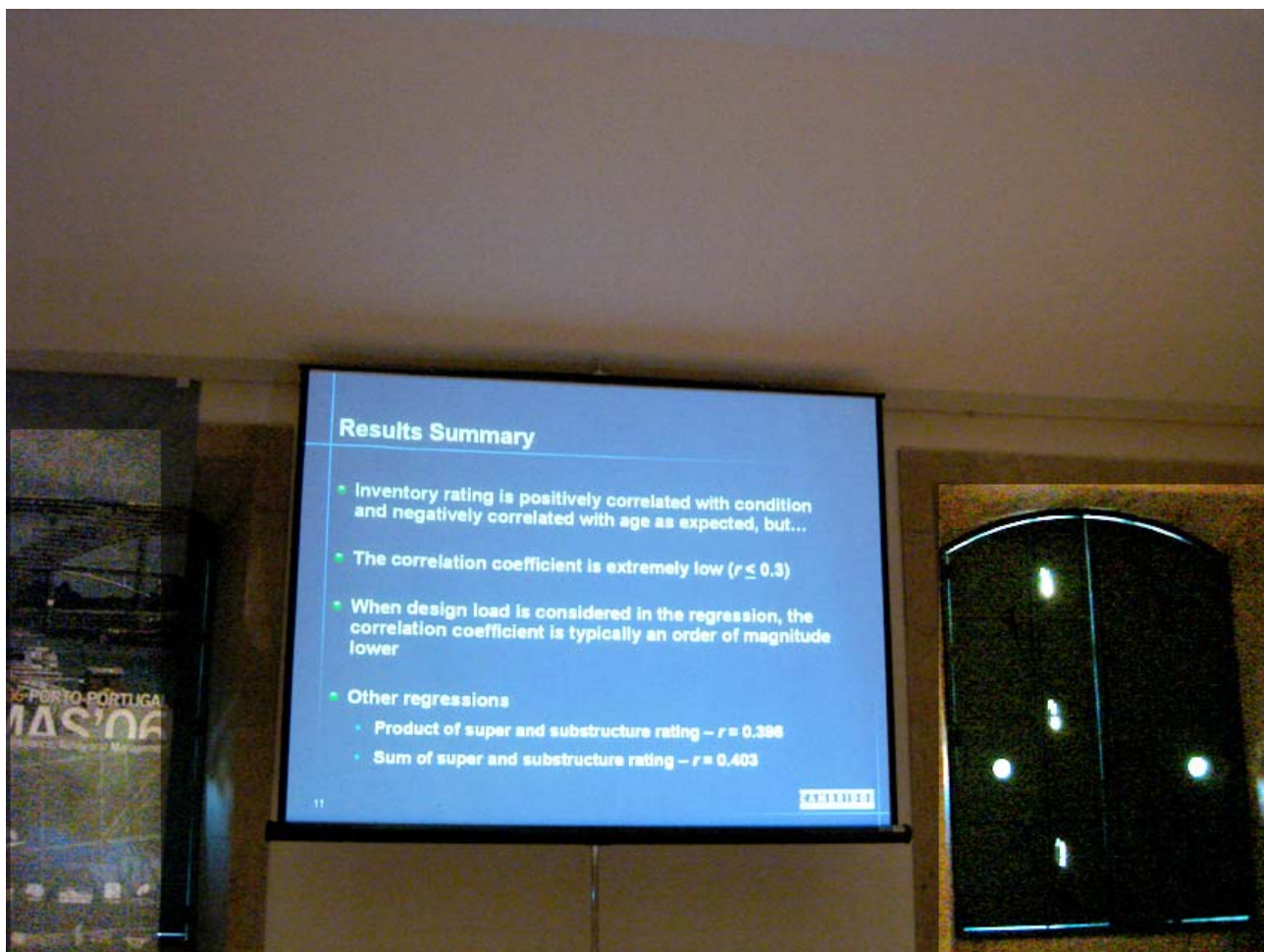




Доклад Р. М. Kristofas, М. G. Kartaftis “bridge deck deterioration: A parametric hazard-based duration modeling approach”, секция “Inspection & prediction of structural performance” посвящен изучению законов распределения параметров деградации железобетонных пролетных строений. Показана применимость логнормального распределения для описания деградационных процессов. Изучается зависимость ИТС от возраста моста. Как обычно, констатируются большие разбросы. Тем не менее, делается попытка определить хотя бы диапазоны изменения ИТС в зависимости от возраста.

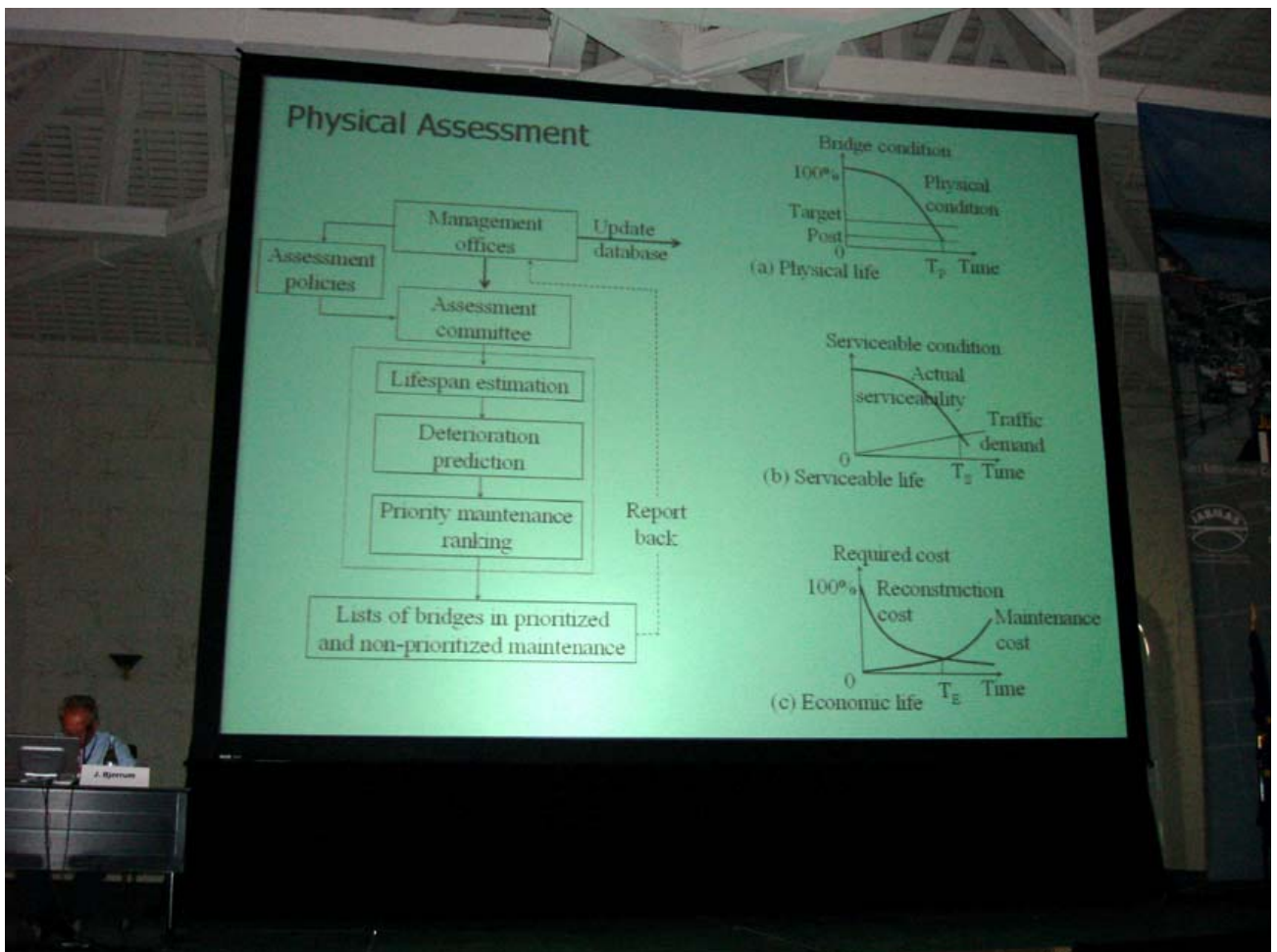
В докладе D. Gurenich, W. Roberts “Correlation between reduction in load capacity and structural conditions of highway bridges” ставится методически строгая задача: найти, есть ли статистически достоверное свидетельство взаимосвязи между несущей способностью и состоянием моста? Дается ответ, что такой взаимосвязи, равно как и связи ИТС с возрастом моста, нет. Это типичный результат «среднебольничного» подхода, основанного на Марковских моделях. Однако, тем не менее, есть и объективные причины несоответствия

ИТС и несущей способности, которые, по-видимому, обусловлены особенностями норм проектирования, качества строительства, уровнем грузопотока, обращающегося по дорожной сети, а главное - в том, что необходимость ремонта в большинстве случаев определяется не снижением несущей способности, а безопасностью и комфортностью движения, опрятным внешним видом.



Интересны доклады, сообщающие о возросшем интересе к BMS в развивающихся странах, в том числе выступления F. A. Alonso et al “Use of genetic algorithm for optimal polices of M&R in a bridge network (Mexico)”, D. T. Hai et al “Current maintenance management practice for highway bridges in Vietnam”, В докладе В. М. Камуа “Bridge inspections, a case for trained bridge inspectors (Angola)”. Следует отметить, что в этих докладах достаточно грамотный анализ сопровождается, зачастую, непониманием принципов обоснования ремонтных бюджетов. Так, в докладе D.T.Hai (Вьетнам) при отсутствии данных обследований и объективных показателей сравнения технического состояния различных сооружений, утверждается, что дефицит ремонтного бюджета составляет 50-70% от потребностей. С другой стороны, в данном докладе предлагается интересная идея определения потребного уровня сервиса для мостовой сети, основанная на рассмотрении, с одной стороны,

деградации сооружений, а с другой – возрастания транспортных потребностей. Данная идея может и должна быть развита в идеологию «сбалансированного строительства и ремонта».



Следует особо подчеркнуть важность и актуальность адекватной оценки технического состояния сооружения в Системах управления. Ведь, как показывает опыт эксплуатации СУМ г. Москвы, ошибки и небрежности в оценке состояния, включая опечатки при вводе данных, могут существенно изменить состав и сроки рекомендуемых РРМ. Многие авторы также отмечают наличие этой проблемы, однако до сих пор ни одна зарубежная Система управления не имеет в своем составе каких-либо автоматизированных средств контроля адекватности инспекций. Эта задача качественно решена только в СОМ «Гидромот», который имеет специальный контрольный модуль, работа которого основана на статистической обработке результатов всех инспекций. При наличии достаточного объема инспекционных данных модуль способен уверенно выявить погрешности и ошибки в оценках состояния элементов сооружения.

В целом, на основании материалов Конференции IABMAS'06 можно с удовлетворением заключить, что в сфере разработки и развития автоматизированных Систем эксплуатации мостовых и других сооружений COM-AGA занимают лидирующие положение, а по целому ряду позиций опережают имеющиеся аналоги.

