

AGA Group, Inc.

Эффективность внедрения систем управления эксплуатацией мостовых сооружений.

Аналитический обзор

Современная система управления эксплуатацией мостовых сооружений (СУМ) является сложным инженерно-экономическим комплексом, который в общем случае состоит из:

- инвентаризационной службы, производящей описание подконтрольных объектов с использованием стандартизованных признаков и процедур;
- инспекционной службы, периодически оценивающей, по единым критериям, фактическое техническое состояние сооружений;
- аналитической службы, определяющей стратегию обслуживания мостов на основании оптимизационного расчета финансовых затрат, необходимых для поддержания сооружений в надлежащем состоянии;
- сопровождаемого программного продукта, обеспечивающего инструментарий для решения перечисленных задач.

Освоение качественной СУМ требует значительных затрат времени и средств. Как правило, подобные системы создаются более 5 лет. Так, наиболее распространенная на сегодняшний день система «Понтис» (США) разрабатывается и совершенствуется уже 16 лет [1]. В провинции Онтарио (Канада) начали создавать СУМ в 1998 году, и к ее полномасштабному внедрению приступили в 2002 году [2]. Косвенные данные о стоимости разработки и эксплуатации СУМ позволяют обоснованно предположить, что только на создание алгоритмического и программного обеспечения для подобной системы затрачивается не менее 7-12 млн. долларов, а на его поддержание 1.1-1.6 млн. долларов ежегодно. Кроме того, существенных затрат требует модернизация, с учетом требований СУМ, соответствующих структур, ответственных за содержание и ремонт мостовых сооружений.

Следует, правда, отметить, что общий объем расходов на эксплуатацию транспортных сооружений несоизмеримо превосходит вышеуказанные цифры. Так, например, в г. Нью-Йорк (США), на содержание 762 мостов со средним возрастом 75 лет и общей площадью 1430 тыс. м² затрачивается более 350 млн. долларов в год (табл. 1), [3].

Тем не менее, в абсолютных величинах затраты на разработку, внедрение и развитие СУМ, а также на детальное периодическое инспектирование сооружений весьма существенны, поэтому вопрос об экономической эффективности такой высокотехнологичной системы вполне уместен.

К сожалению, фактические данные об экономической эффективности СУМ получить достаточно сложно, прежде всего потому, что сроки полномасштабной эксплуатации СУМ во всех странах, где они внедряются, пока что гораздо меньше сроков службы мостовых сооружений. Однако о возможной эффективности современных СУМ можно судить по косвенным данным. При этом следует обращать внимание на разницу методов оценки как самих затрат на содержание мостов, так и эффективности эксплуатации. На сегодня единый подход к рассмотрению указанных экономических характеристик пока не сформирован. В качестве общепринятого критерия эффективности в настоящее время применяется только показатель средних эксплуатационных затрат в расчете на 1 год срока службы, в сочетании с абсолютной величиной последнего.

В большинстве случаев, считают, что, при эксплуатации мостовых сооружений экономическая эффективность достигается за счет предотвращения/уменьшения ущерба, который причиняется неудовлетворительным транспортно-эксплуатационным состоянием моста [4,8], в том числе

- ущерб, причиняемый потребителю (U_u) ограничением или запрещением дорожного движения из-за неисправности моста, в том числе:
 - Потери при перевозках грузов и пассажиров в связи с перепробегом транспортных средств (из-за снижения грузоподъемности сооружений в связи с деградацией несущих элементов);
 - Потери в результате снижения скорости движения автомобилей, а также повышения вероятности ДТП на мостах и подходах к ним (из-за плохого состояния их мостового полотна либо при ограничении движения из-за ремонтов сооружения),
- ущерб, причиняемый владельцу моста (U_o) необходимостью понесения затрат средств на реновацию сооружения, то есть затраты на его замену.

Таблица 1. *Распределение затрат на содержание мостов в г. Нью-Йорк*

Статья затрат	Сумма, \$/м ²
Содержание, в том числе:	64.17
Уборка тротуаров и вывоз мусора	2.06
Уборка проезжей части	1.02
Прочистка дренажей	0.61
Очистка опор и пирсов	1.95
Очистка решетчатых настилов	0.04
Очистка деформационных швов	2.29
Мытье конструкций	9.25
Покраска	25.27
Точечная подкраска	16.65
Замена бордюров и тротуаров	0.93
Ремонт асфальта	1.64
Обслуживание электрооборудования	0.78
Обслуживание механического оборудования	0.71
Мелкий ремонт	0.97
Текущий ремонт	57.58
Отчисления на капитальный ремонт	129.17
ВСЕГО	250.92

Таким образом, полная величина ущерба от неудовлетворительного транспортно-эксплуатационного состояния сооружения включает определится как:

$$U_s = U_u + U_o$$

При этом необходимо привести величину ущерба к первому году расчетного периода, имеющего длительность n лет, по формуле:

$$U_s' = U_s * (1 + f_1)^{n-k} * (1 + f_2)^{n-k}$$

где f_1 – ставка кредитования (стоимость кредитных ресурсов, используемых при реконструкции сооружений), f_2 – индекс инфляции. Значение U_u рассчитывается для каждого конкретного моста с использованием методики [4], и статистических данных об интенсивности движения, см. также приложение 1. Величина U_o может быть принята равной стоимости капитального ремонта (замены) сооружения.

Реализуемая в рамках СУМ физико-экономическая модель также возможность определения экономического эффекта за счет:

- снижения удельной стоимости обслуживания сооружений за счет оптимального выбора видов и сроков ремонтов.
- увеличения средней долговечности сооружений за счет повышения качества содержания и текущего ремонта путем оптимизации ремонтных назначений в

условиях ограниченного бюджета, с учетом уточненного определения фактического технического состояния;

При этом основная инженерно-экономическая идея состоит в снижении капитальных затрат за счет более эффективного использования, или даже увеличения ресурсов, выделяемых на эксплуатацию.

Оптимизация выбора видов и сроков ремонтов базируется на том факте, что, как для сооружений в целом, так и для их отдельных элементов стоимость ремонта является нелинейной функцией величины предельно допускаемого износа (то есть износа, при достижении которого элемент/сооружение подвергается ремонту) (рис.1). Здесь под «относительной стоимостью» (C') понимается отношение стоимости ремонта к стоимости замены элемента (или части сооружения, или моста в целом), а относительная удельная стоимость вычисляется по формуле:

$$C'' = C' / \Delta t$$

где Δt – время, прошедшее от начала эксплуатации (или предыдущего ремонта) до момента проведения данного ремонта сооружения.

Очевидно, что обеспечить требуемое техническое состояние элемента/сооружения в течение всего срока его службы возможно, применяя комбинации различных ремонтных воздействий в различные моменты времени. При этом затраты на ремонтную активность будут, естественно, различными, и характер зависимостей, отображенных на рис. 1 дает основания для поиска оптимальной стратегии.

Под стратегией в данном случае понимается совокупность ремонтных назначений, предписываемых на весь срок службы объекта. В простейшем случае стратегия задается комплексом $\{C', s\}$, где s – периодичность ремонтов. Оптимальной предлагается считать стратегию, при которой приведенная относительная удельная стоимость ремонтов за весь срок службы сооружения минимальна, то есть

$$C'' = C' * [(1+f_1)(1+f_2)]^{n-sk} * \{ (1 - [(1+f_1)(1+f_2)]^{sk}) / (1 - [(1+f_1)(1+f_2)]^k) + (n/k-s) / [(1+f_1)(1+f_2)]^k \} / t = \min$$

где $k = (n/s)$, округленное до целого числа.

Анализ показывает, что эта функция, в зависимости от:

- срока службы элемента/сооружения;
- цены используемых финансовых ресурсов;
- соотношению стоимостей текущего, капитально ремонта и замены элементов/сооружений,

и прочих параметров конкретных объектов эксплуатируемой мостовой сети может иметь один или несколько экстремумов (рис. 2).

Интересно, что соотношения абсолютных величин ущерба, причиняемого потребителю (U_u) и и стоимости ремонта не влияют на вид функции, хотя и меняют ее количественные характеристики (при анализе относительная величина U_u определялась с использованием данных по эксплуатации мостов в США [3, 6]).

В то же время, с точки зрения наличия экстремумов, величина стоимости финансовых ресурсов является существенной при любом соотношении цен ремонтных воздействий и величин ущерба (рис. 3). Этот факт очень важен с точки зрения распределения имеющихся средств по обслуживаемым объектам, тем более, что зачастую в распоряжении владельца мостовой сети имеются финансовые ресурсы различной стоимости.

Таким образом, предлагаемый подход дает возможность осуществить рациональный выбор ремонтной стратегии путем оптимизации и видов, и периодичности ремонтов применительно как к отдельным элементам конструкции, так и к сооружению в целом. Оценить экономическую эффективность такой оптимизации можно, сравнивая удельную относительную стоимость ремонтов для той или иной стратегии. В качестве базы для

сравнения разумно принять стратегию «ничего не делать», при которой осуществляются лишь капитальный ремонт сооружения в моменты достижения последнем предельного состояния (нормативный износ 100%). При этом, естественно, кроме затрат на реновацию, необходимо учесть ежегодные расходы на регламентные работы (Z''), проведение которых и обеспечивает реализацию базовой долговечности (t_b), то есть ежегодные базовые затраты составят:

$$E_b = (U_o + \sum_{i=1...n} (Z'' * [(1+f_1)(1+f_2)]^{n-i})) / t$$

Из рис. 4. видно, что, применительно к Московским условиям ($t=40$), годовая экономическая эффективность перехода от капитального (предельная категория состояния «3», износ 100%) к плано-предупредительному ремонту (предельная категория состояния «2», износ 60%) может достигать 0.93% от стоимости сооружений. Следует, правда, отметить, что, с учетом ущерба у потребителя, вызываемого ограничением движения при ремонтах эта эффективность несколько снижается.

Экономические результаты можно еще улучшить, переводя мост в другую, более высокую категорию по долговечности за счет качественного обслуживания. При этом не только снижается стоимость ремонтов (рис.2.д), но и, естественно, уменьшается величина ущерба владельца (U_o).

Литературные данные показывают, что увеличение средней долговечности сооружений за счет повышения качества содержания и текущего ремонта может быть достаточно весомым (рис. 5, построен по данным работы [3]), особенно применительно к условиям г. Москвы, где, прежде всего вследствие тяжелых метеорологических условий и хронического недофинансирования средний срок службы мостов составляет 42 года (в США – от 70 до 95 лет).

В условиях ограниченного бюджета - а именно эти условия характерны для всех без исключения стран (рис.6, построенный по усредненным литературным данным) – маневрирование ремонтными назначениями на основе уточненного определения фактического технического состояния в ходе периодических инспекций приобретает первостепенное значение. Прямой годовой экономический эффект (без учета ущерба у потребителя) от увеличения долговечности моста с величины t до величины $(t+j)$ может быть рассчитан по формуле:

$$E_t = U_o * ([(1+f_1)(1+f_2)]^j - 1) + (C_1'' - C_2'')$$

Здесь C_1'' , C_2'' – соответственно оптимальные удельные относительные затраты на ремонт, где j – увеличение срока службы сооружения, лет.

По оценочным данным, в условиях г. Москвы годовой экономический эффект от увеличения средней долговечности мостов может составить до 0.5% от стоимости их реновации (рис. 6). Полный экономический эффект от внедрения СУМ в практику эксплуатации мостовой сети должен, таким образом, рассчитываться как алгебраическая сумма:

- затрат на совершенствование организационно методической структуры, а также алгоритмического и программного обеспечения СУМ;
- затрат на осуществление инвентаризации сооружений и поддержание архива;
- затрат на проведение периодических Стандартных инспекций сооружений;
- затрат на мониторинг сооружений;
- экономии от оптимизации выбора видов и сроков ремонтов сооружений и их элементов;
- экономии от снижения нормы амортизационных отчислений при увеличении средней долговечности сооружений и их элементов;

- экономии от дальнейшего снижения оптимизированных затрат на ремонт при увеличении средней долговечности сооружений и их элементов;
- экономии от снижения ущерба у потребителя от неудовлетворительного транспортно-эксплуатационного состояния сооружения за счет оптимизации ремонтных стратегий, увеличения надежности и сроков службы сооружений.

Разумеется, сложность и многообразие транспортных сооружений исключает наличие готовых рецептов, и выбор оптимальной ремонтной стратегии в каждом конкретном случае требует значительных затрат времени и высокой квалификации аналитика. Он должен базироваться на:

- наличии большого количества разнообразной информации, содержащейся в базе данных СУМ;
- регулярном и адекватном инспектировании сооружений;
- постоянно пополняемом и корректируемом генеральном каталоге СУМ;
- адекватном алгоритме экономической оптимизации, обеспеченном исходными данными, в том числе и для расчета ущерба у потребителя;
- удобными средствами визуализации и формализации рекомендаций, в том числе позволяющими эффективно донести информацию до исполнителей ремонтных назначений, а также осуществить контроль исполнения принятых решений.

Предлагаемая схема оптимизации затрат и принятия решения показана на в Приложении 2. Очевидно, что обеспечить все вышеперечисленное возможно только в ходе длительной и скрупулезной работы, адаптируя внедряемую СУМ к особенностям как парка транспортных сооружений, так и соответствующего персонала.

По-видимому, именно этим объясняется тот факт, что из 38 штатов, внедряющих систему «Pontis» лишь 5 используют все три основные функции системы. Две функции внедрены у 15 пользователей, а 18 пока реализуют только одну из доступных функций [7].

Тем не менее, несмотря на трудности, выгода от внедрения СУМ становится все более очевидной, и распространение систем управления содержанием транспортных сооружений, равно как и поддерживающие его объемы финансирования из года в год увеличиваются.

Литература

1. P.D. Thompson, E.P. Small, M. Johnson, A.R.Marshall. The Pontis Bridge Management System. Structural Engineering International, 4/98, 303-307.
2. P.D. Thompson, R.M/Ellis, K.Hong. Implementation of Ontario Bridge management System. 9th International BMS Conference, Orlando, FL, 2003, p.p.112-127
3. B.Janev, R.B.Testa, M.Garvin. Maintenance strategy to minimize bridge life-cycle costs. 9th International BMS Conference, Orlando, FL, 2003, p.p.189-198
4. В.И.Шестериков. Руководство по планированию затрат на содержание, ремонт и реконструкцию мостовых сооружений в г. Москве. СУМ. г. Москвы. Отчет №3. М, 2001.
5. РДН 218.05.14-2000. Определение и прогнозирование износа элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах Краснодарского края. М.-Краснодар, 2001.
6. Frangopol D.M., Enright M.P., Estes A.C., Integration of Maintenance, Repair, and Replacement Decisions in Bridge Management Based on Reliability, Optimization, and Life-Cycle Cost. 8th International BMS Conference, Denver, CO, 1999, pp. G1-G2
7. Robert W.E., Marshall A.R., Shepard R.W., Aldayuz J. Pontis bridge management system. State of teh practice in implementation and development. 9th International BMS Conference, Orlando, FL, 2003, p.p.49-60
8. Smith N., Pinto da Silva L.C., Economic Appraisal in Advanced Bridge Management Systems. 8th International BMS Conference, Denver, CO, 1999, pp. D2/1-D2/16

Рисунки

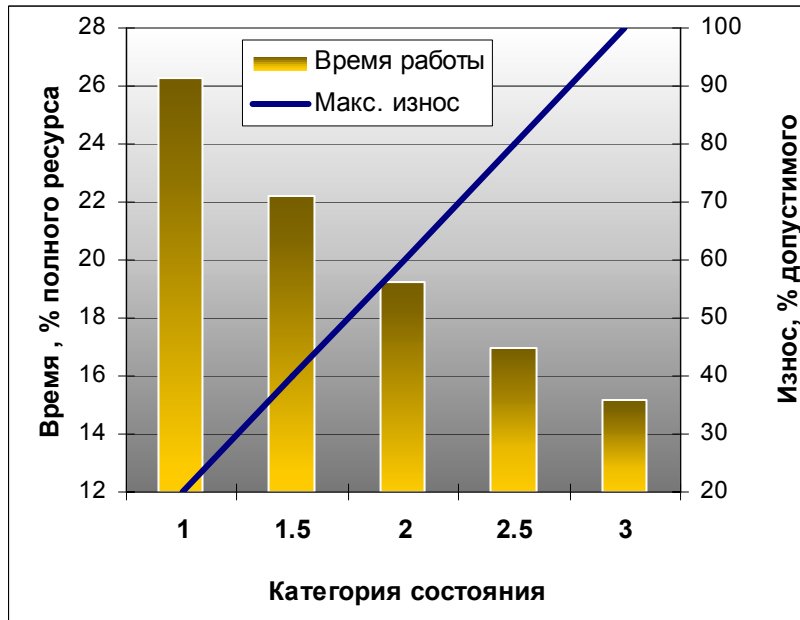


Рис. 1.а. Время работы элемента в различных состояниях по износу

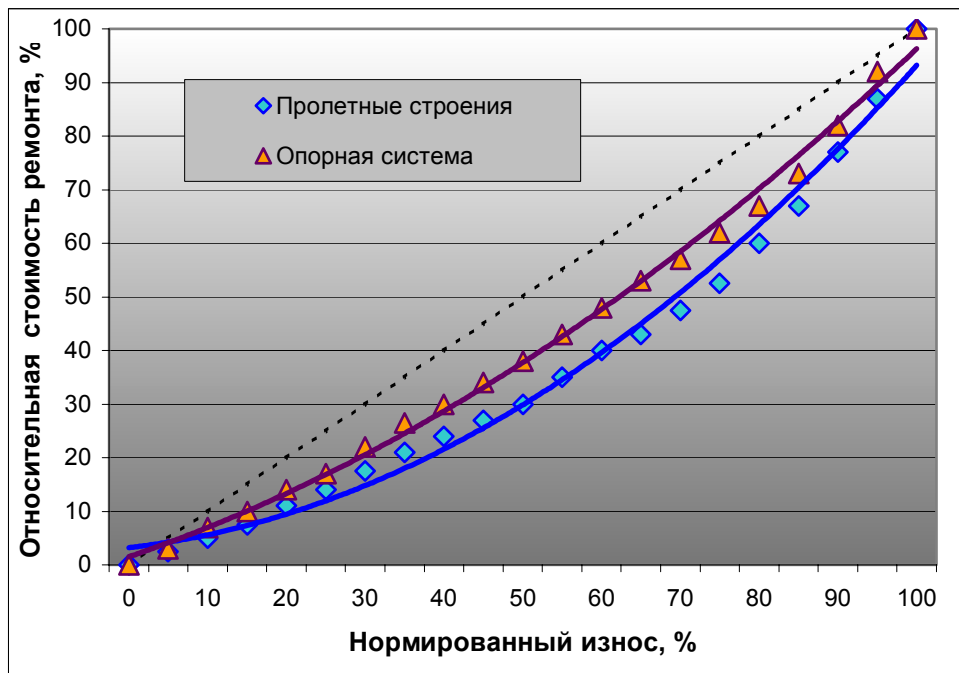


Рис. 16. Относительная стоимость ремонта как функция нормированного износа мостовых сооружений (по данным книги [5])

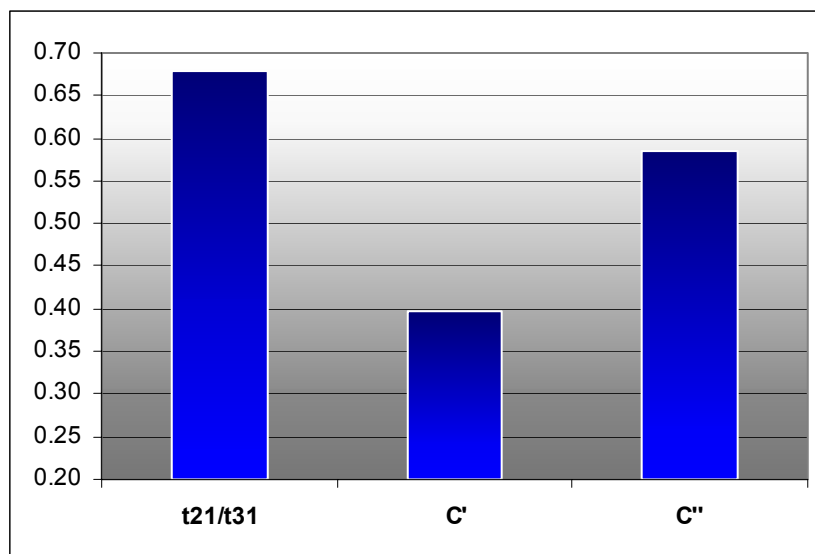


Рис. 1.в. Относительная стоимость ремонта как функция состояния стандартных элементов мостовых сооружений. Величина C' соответствует ремонту при 60% износа, а C'' – при 100% износа. (по данным экспертных оценок: обработано мнение 5 экспертов по 84 стандартным ремонтным воздействиям)

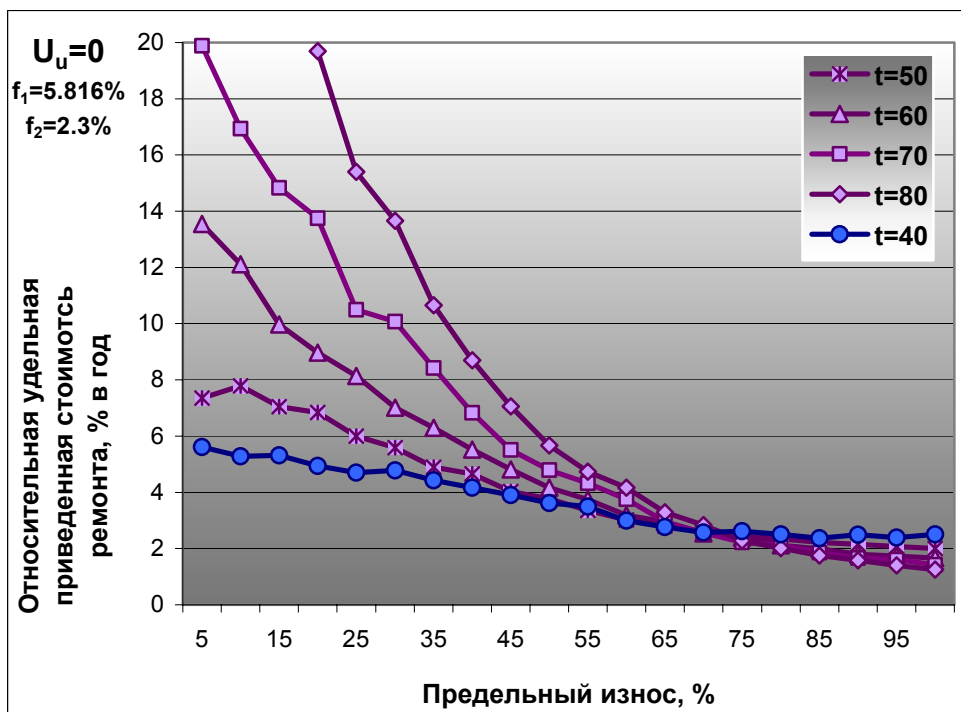


Рис. 2.а. Относительная стоимость ремонта (приведенная к первому году расчетного периода) как функция предельно допустимого износа как функция предельно допустимого износа и срока службы сооружения (t). $U_u=0$

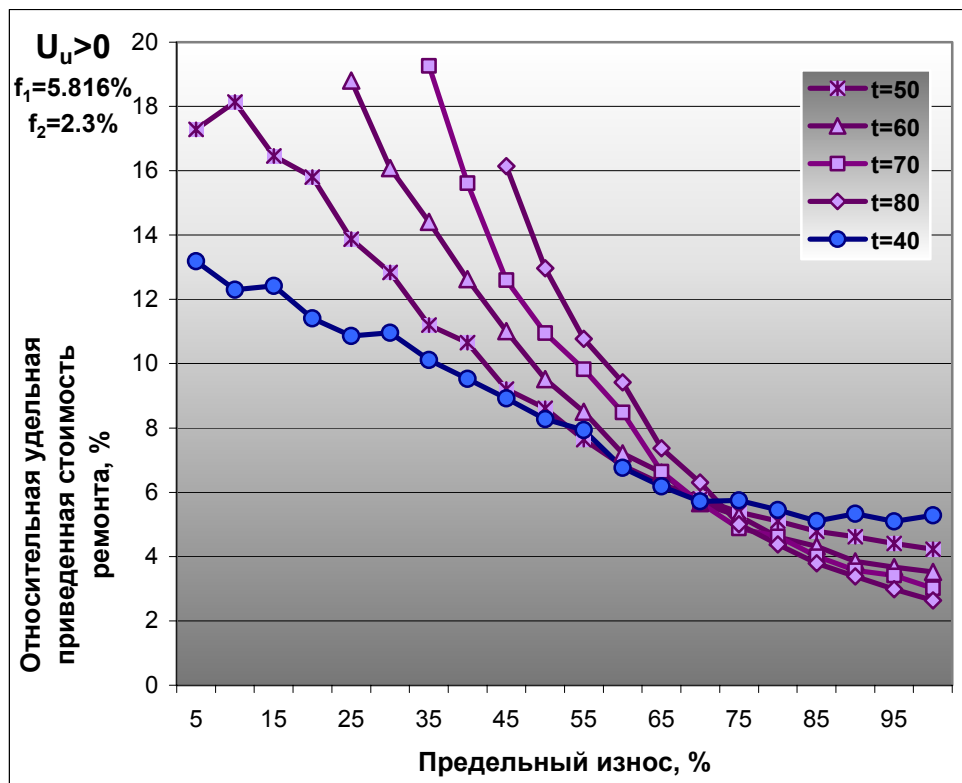


Рис. 2.б. Относительная удельная стоимость ремонта (приведенная к первому году расчетного периода) как функция предельно допустимого износа и срока службы сооружения (t). $U_u > 0$

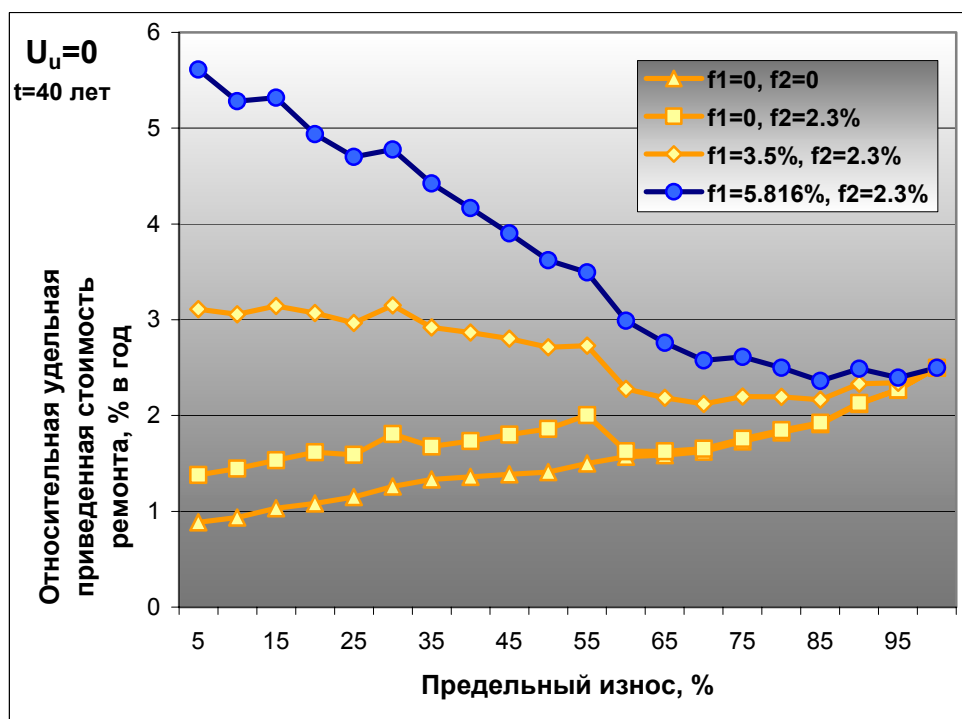


Рис. 2.в. Относительная удельная стоимость ремонта (приведенная к первому году расчетного периода) как функция предельно допустимого износа и стоимости финансовых ресурсов ($t=40$ лет). $U_u = 0$

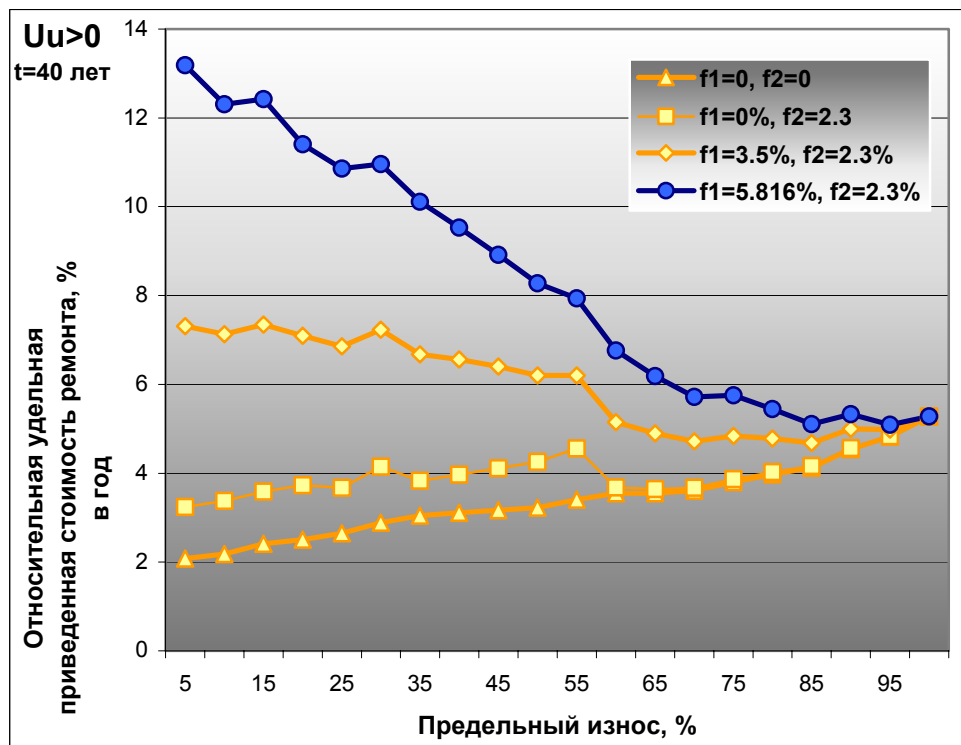


Рис. 2.г. Относительная удельная стоимость ремонта (приведенная к первому году расчетного периода) как функция предельно допустимого износа и стоимости финансовых ресурсов ($t=40$ лет). $U_u > 0$

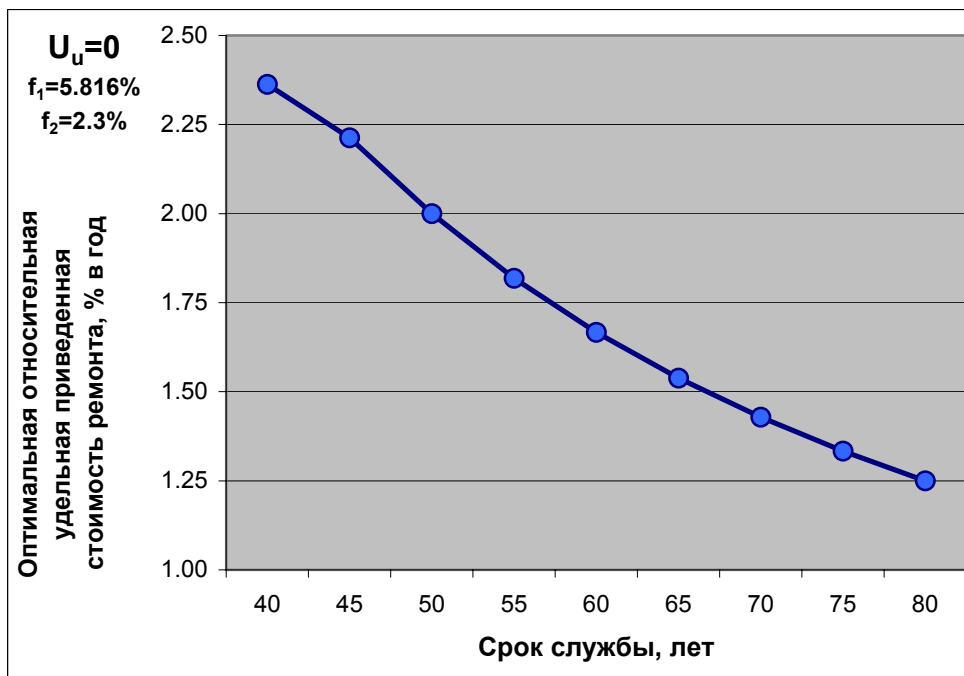


Рис. 2.д. Оптимальные значения относительной удельной стоимости ремонта (приведены к первому году расчетного периода) как функция срока службы сооружения

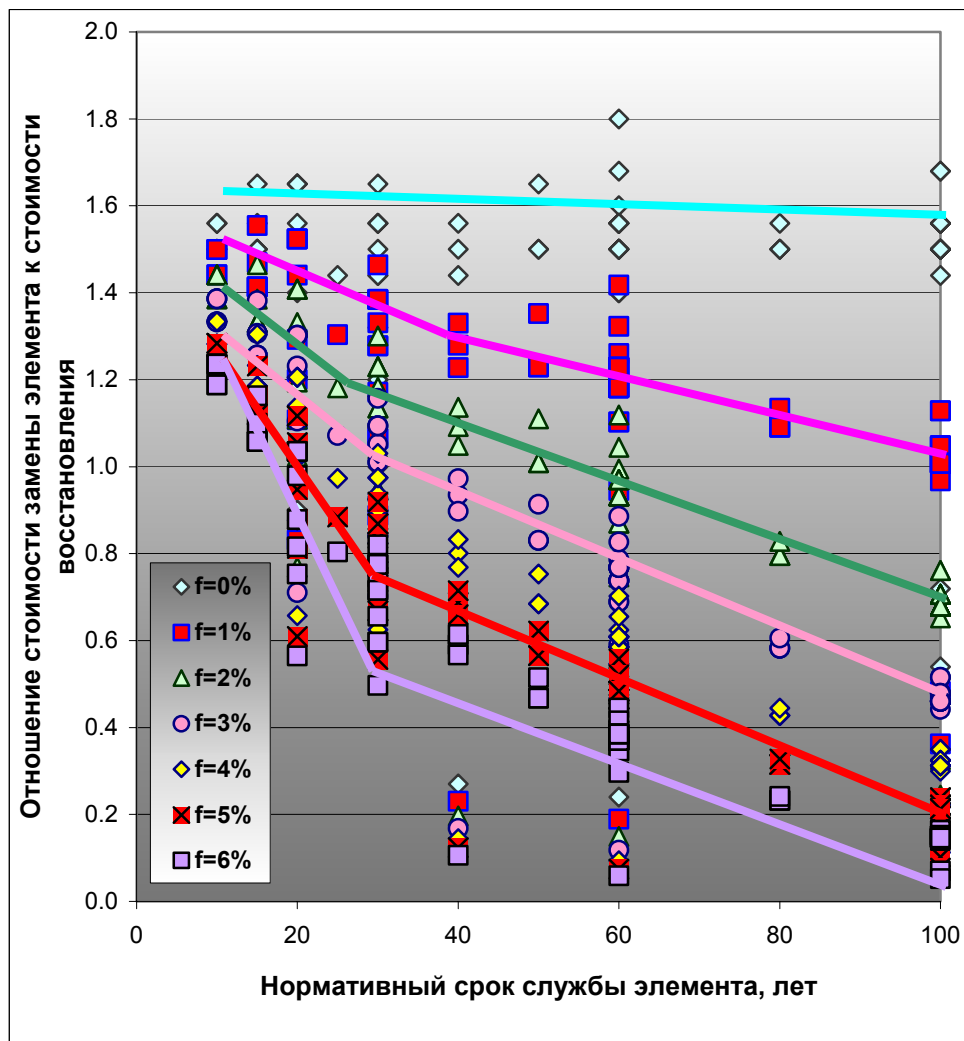


Рис. 2.е. Зависимость отношения стоимости замены элемента к стоимости его восстановления от нормативного срока службы (T) и стоимости финансовых ресурсов.

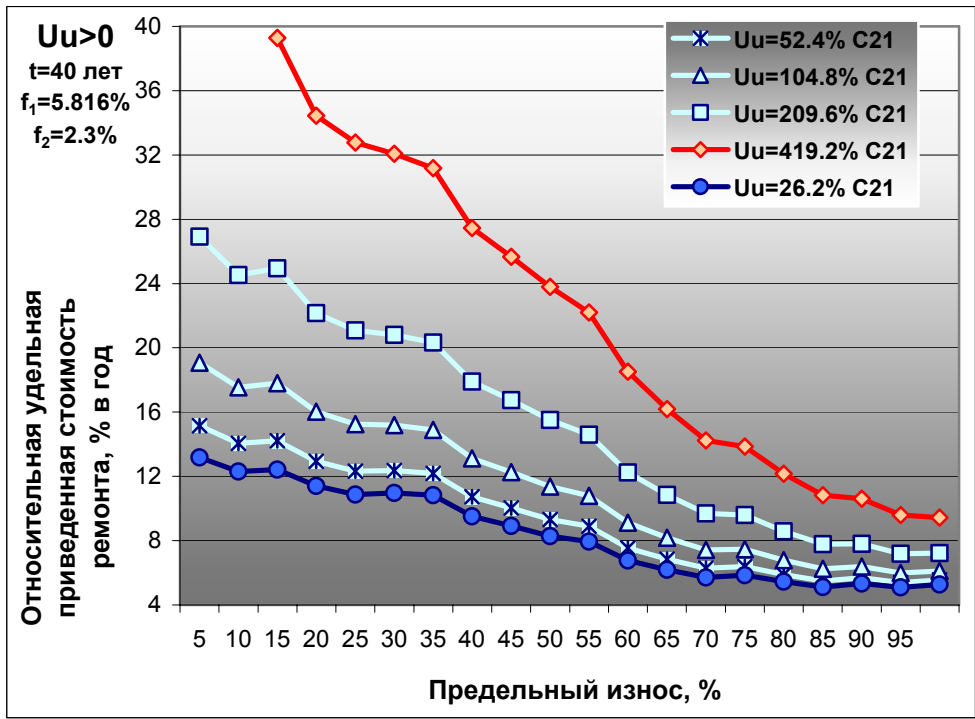


Рис. 3.а. Относительная удельная стоимость ремонта (приведенная к первому году расчетного периода) как функция предельно допустимого износа а также соотношения стоимости ремонта и ущерба у потребителя (U_u).

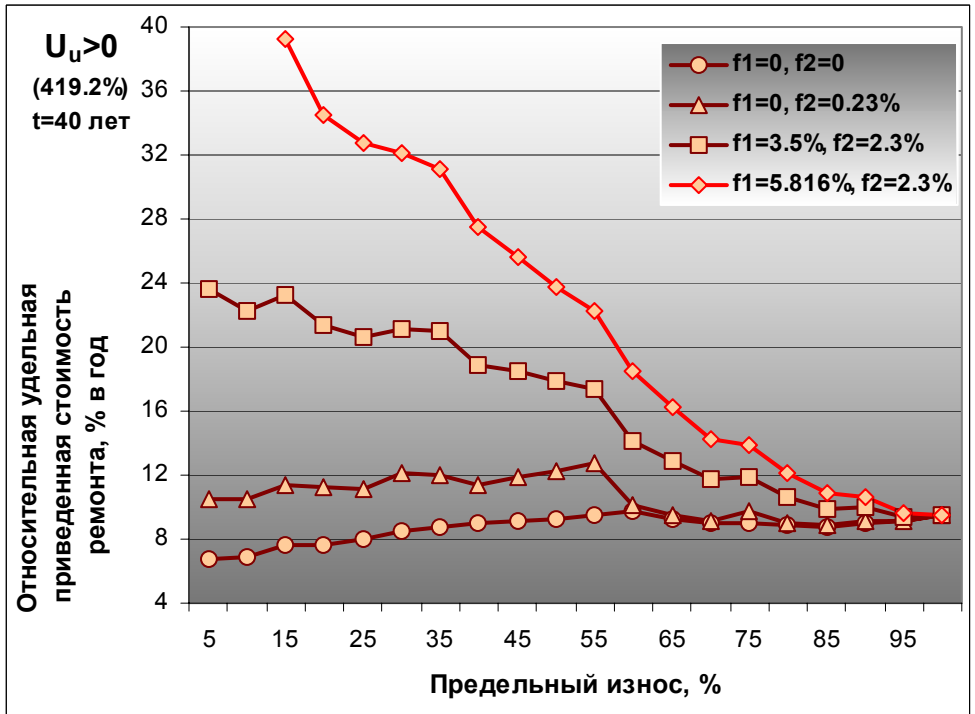


Рис. 3.б. Относительная удельная стоимость ремонта (приведенная к первому году расчетного периода) как функция предельно допустимого износа и стоимости кредитных ресурсов при больших величинах U_u .

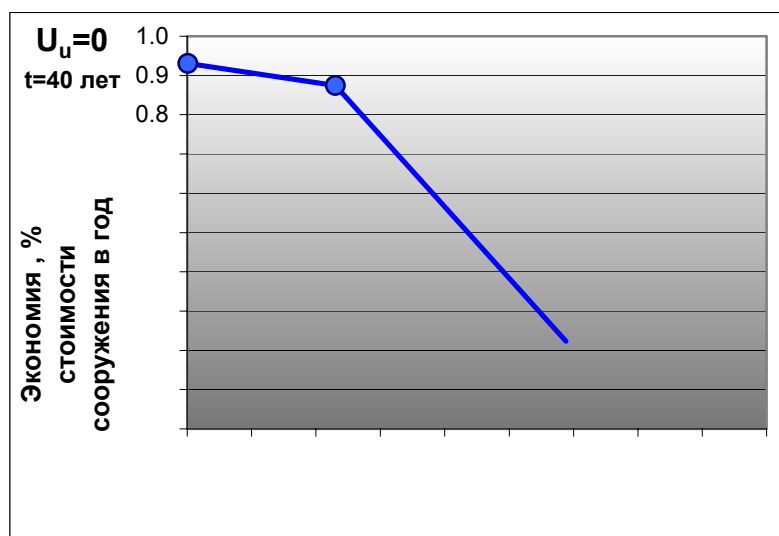


Рис.4.а. Относительная экономическая эффективность планово-предупредительного ремонта как функция стоимости финансовых ресурсов.

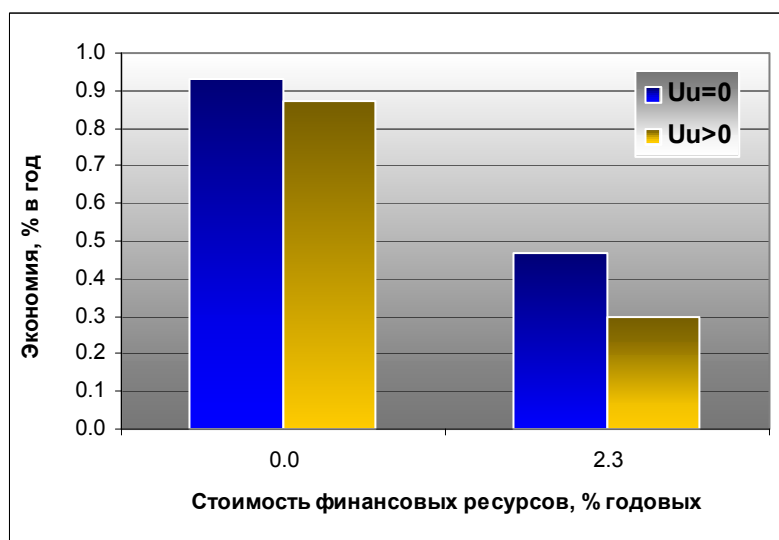


Рис.4.б. Изменение относительной экономической эффективности планово-предупредительного ремонта с учетом величины ущерба у потребителя.



Рис.5. Зависимость срока службы мостов от уровня их обслуживания. 100% уровень соответствует полной и своевременной реализации всех регламентных и ремонтных работ.

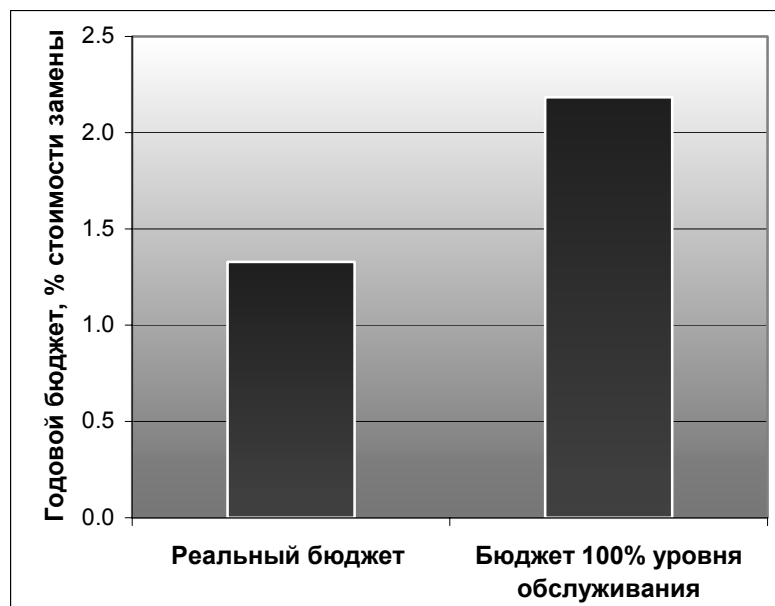


Рис.6. Типичные бюджетные ограничения (учтена компенсация ущерба потребителя)

Приложение 1

Расчетные зависимости и основные коэффициенты для расчета ущерба у потребителя

Потери из-за снижения грузоподъемности сооружений в связи с деградацией несущих элементов рассчитываются для сооружений, применительно к которым выполняются условия:

- Общая/специальная грузоподъемность (данные инвентарного паспорта, вносятся на основании конструкторской документации) меньше установленной действующими нормативами;
- Класс сооружения меньше предусмотренного проектом (данные инвентарного паспорта, вносятся на основании специальной инспекции),

по формуле:

$$U_G = 8.76 * (L_{bpass}/\xi_{bpass} - L_{brg})/v_f * N_{bpass(G)} * N_{gen} * C_{gen(AV)} * \xi_{trk}$$

где: L_{bpass} – длина объезда, м, L_{brg} - длина моста, м, v_f - фактическая скорость движения транспорта по мосту, км/час, $N_{bpass(G)}$ - относительное количество (доля) автомобилей, масса которых превышает грузоподъемность моста (вычисляется по данным табл. 1, 2), N_{gen} - общая интенсивность движения по мосту, автомобилей/час (табл. 1), $C_{gen(AV)}$ – средняя стоимость эксплуатации единицы транспорта (автомобиля), руб/час, ξ_{bpass} - коэффициент снижения скорости на объезде, ξ_{trk} - коэффициент увеличения стоимости для тяжелых автомобилей (табл. 4 приложения 4), вычисляемый по формуле:

$$\xi_{trk} = \sum(\xi_{trk}(i) * N_{bpass(G)}(i))$$

где величины относятся к соответствующим категориям автомобилей, участвующих в движении (табл. 2-3 и 4)

Очевидно, что для вычисления ущерба от закрытия (U_{cls}) моста можно использовать формулу для расчета U_G , положив $N_{bpass(G)} = 1$

Потери из-за снижения скорости движения автомобилей вследствие плохого состояния мостового полотна возникают от увеличения времени пребывания в пути транспорта и пассажиров. Эти потери рассчитываются для мостов, имеющих существенные повреждения дорожного покрытия (табл. 5), по формулам:

$$U_v = 8.76 * L_{brg}/v_f * (1/\xi_{v4100} - 1) * N_{gen} * ((C_{psngr} * (N_{cr} * P_{cr} + N_{bus} * P_{bus} + N_{tbus} * P_{tbus}) + C_{gen(AV)} * \xi_{trk})$$

Здесь ξ_{v4100} – коэффициент снижения скорости движения автомобилей вследствие плохого состояния мостового полотна, C_{psngr} - средняя величина потерь от транспортной усталости, руб/чел-час, N_{cr} , N_{bus} , N_{tbus} - соответственно относительное количество (доля) легковых автомобилей, автобусов и троллейбусов (вычисляется по данным табл. 1, 2), P_{cr} , P_{bus} , P_{tbus} - соответственно количество пассажиров в одном легковом автомобиле, автобусе, троллейбусе. Потери в результате роста дорожно-транспортных происшествий и снижения скорости транспорта от сужения проезжей части вычисляются по формуле:

$$U_{acc} = 8.76 * N_{gen} * (C_{acc} * (W_{brg} * \xi_{wbrg})^a * (L_{brg} + L_{infl}) + L_{brg}/v_f * (1/(\xi_{vw} * (W_{brg} * \xi_{wbrg})^b) - 1) * C_{gen(AV)} * \xi_{trk})$$

где C_{acc} – коэффициент потерь от ДТП на единицу (1 м) ширины проезжей части, руб/(авт*км*сутки), W_{brg} – ширина моста, м, L_{infl} - зона влияния сужения, м, ξ_{wbrg} –

коэффициент сужения, равный отношению имеющегося проезда к проектной ширине проезжей части моста, α – аварийный параметр сужения, ξ_{vw} – коэффициент влияния сужения на скорость, β – скоростной параметр сужения). Эти же соотношения используются и для вычисления ущерба, возникающего из-за закрытия моста или сужения проезжей части сооружения при его ремонте (U_{CLS} , U_{vRep} , U_{accRep}). Однако при этом коэффициент **8,76** заменяется коэффициентом

$$\Psi = 10^{-3} * T_{rep},$$

где T_{rep} – время ремонта, суток.

Величина T_{rep} принимается из проектной документации, или вычисляется по формуле (ремонту подлежит «i» элементов, назначенные воздействия «C(Y_i)»):

$$T_{rep} = k_{RepCorr} * T_{NConstr} * \Sigma(C(Y_i)^\gamma) / C_{\Sigma 31brg}$$

Здесь $T_{NConstr}$ – нормативный срок строительства нового мостового сооружения аналогичной конструкции, γ – коэффициент объемов работ, $k_{RepCorr}$ – поправочный коэффициент, учитывающий повышение трудоемкости ремонтных работ по сравнению с новым строительством, C_{31brg} – стоимость полной замены сооружения.

Данное приложение составлено по материалам отчета:

*Разработка системы управления содержанием мостов в г. Москве.
3^й ежемесячный отчет. Промос-АГА, М., 2001*

Таблица 1.

Расчетная интенсивность движения автомобилей

Категория дороги	Число полос	№, тыс. авт./сек 2001 (авт./час)	Коэф. загрузки	Темпы роста интенсивности, % в год			Интенсивность на перспективу тыс. авт./сек	
				Легковые автомоб.	Грузов. Q<20т	Сверх. тяж. Q>20т	2005	2010
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А-1	8	75 (6,0)	0,38	1,5	0,5	0	78	82
	6	63 (5,0)	0,55	1,5	0,5	0	66	70
А-2	6	60 (4,8)	0,53	1,5	0,5	0	63	67
	4	50 (4,0)	0,67	1,0	0,5	0	52	55
А-3	4	33 (3,0)	0,75	1,0	1,0	0	34	36
	2	16 (1,5)	0,75	1,0	1,0	0	16	17
Садовое кольцо (с)	10	100 (10,0)	0,50	1,0	0,5	0	104	110
	8	90 (9,0)	0,56	1,0	0,5	0	94	100
3-е Транспортное кольцо	8	70 (7,0)	0,44	1,5	1,5	1,0	74	80
	6	5 (5,5)	0,61	1,5	1,5	1,0	58	62
В-1	8	90 (9,0)	0,55	1,5	1,5	1,0	94	100
	6	70 (7,0)	0,77	1,5	1,5	1,0	74	80
В-2	8	60 (6,0)	0,38	1,5	1,5	1,0	63	67
	6	50 (5,0)	0,55	1,5	1,5	1,0	53	57
В-3	6	45 (4,5)	0,50	1,0	1,0	1,5	47	50
	4	30 (3,0)	0,50	1,0	1,0	1,5	32	34
В-4	4	20 (2,0)	0,33	1,0	1,0	1,5	21	23
	2	10 (1,0)	0,50	1,0	1,0	1,5	10	11
МКАД (Д)	10	120 (11,0)	0,55	1,5	1,5	2,0	125	135
	8	110 (10,0)	0,53	1,5	1,5	2,0	115	-

Таблица 2.

Состав движения по магистралям

2.1. Садовое кольцо

5 полос в одном направлении	Σ %	Нумерация полос от «оси»				
		№1	№2	№3	№4	№5
Легковые автомобили	75	20	25	15	10	5
Легкие грузовики	15	0	0	4	6	5
«Средние грузовики»	7	0	0	1	2	4
Тяжелые грузовики (включая автобусы)*	3	0	0	0	1	2 (>100 а/2)
Сверхтяжелые грузовики	0	0	0	0	0	0
Σ	100%	20	25	29	19	16
4 полосы в одном направлении		№1	№2	№3	№4	
Легковые автомобили	75	22	22	18	13	
Легкие грузовики	15	0	1	1	5	
«Средние грузовики»	7	0	1	1	5	
Тяжелые грузовики	3	0	0	1	2 (>100 а/2)	
Сверхтяжелые грузовики	0	0	0	0	0	
Σ	100%	22	28	28	22	

*) Автобусы – 0,5%

2.2. МКАД

5 полос в одном направлении	Σ %	Нумерация полос от «оси»				
		№1	№2	№3	№4	№5
Легковые автомобили	70	25	20	10	5	10
Легкие грузовики	10	0	3	5	2	0
«Средние грузовики»	12	0	0	6	4	2
Тяжелые грузовики (включая автобусы)*	6	0	0	0	4	2
Сверхтяжелые грузовики	2	0	0	0	1	1
Σ	100%	25	23	21	19	15
4 полосы в одном направлении		№1	№2	№3	№4	
Легковые автомобили	70	30	25	10	5	
Легкие грузовики	10	2	5	3	0	
«Средние грузовики»	12	0	2	7	3	
Тяжелые грузовики	6	0	0	4	2 (>100 а/2)	
Сверхтяжелые грузовики	2	0	0	0	2	
Σ	100%	32	32	24	12	

*) Автобусы – 1,0 %

2.3. Ленинградское шоссе

Число полос в одном направлении	Классифи- кация транспорт- ных средств	Σ % от интенс.	Интенсивность по полосам (от «оси»)			
			№1	№2	№3	№4
А						
4 (г. Москва, от м. «Сокол» в стор. МКАД)	Легковые автомобили	70	30	25	10	5
	Легкие грузовики	12	2	3	5	20
	«Средние» грузовики (включ. автобусы)	10 (авт. – 1%)	0	0	5	5
	Тяжелые грузовики (включ. автобусы и троллейбусы)	7 (авт+тр-2)	0	0	3	4
	Сверхтяж. грузовики	21	0	0	0	1
	Σ Σ	100%	32	28	23	17
Б						
3 (за МКАД)	Легковые автомобили	60	30	20	10	
	Легкие грузовики	15	5	5	5	
	«Средние» грузовики (включ. автобусы)	15 (авт. – 2%)	3	7	5	
	Тяжелые грузовики (включ. автобусы и троллейбусы)	7 (авт.-2%)	0	4	3	
	Сверхтяж. грузовики	3	0	0	3	
	Σ Σ	100%	38	36	26	

Таблица 3.

Применение данных о составе движения в экономических расчетах

3.1. Магистралы

№№ табл.	Применить при категориях улиц
2.1	«Садовое кольцо» (гр. А по п. 3.1.2.); А-2 для 8 полос движ.
2.2	МКАД; Третье транспортное кольцо; В-1 при 8 полосах движения.
2.3. А	В-2 при 8 полосах движения.
2.3. Б	В-1 при 6 полосах движения.

3.2. Улицы. (3, 2 и 1 означают соответственно 3,2,1 полосы движения в каждом направлении)

Транспортное средство	Процент в потоке при числе полос в каждом направлении					
	Центр			Периферия		
	1	2	3	1	2	3
Легковые автомобили	50	60	70	40	50	60
Легкие грузовики	25	20	15	30	25	15
Средние грузовики (в т. ч. автобусы)	15 (1)	10 (1)	8 (2)	15 (2)	10 (2)	10 (1)
Тяж. Грузовики (в т. ч. и троллейбусы)*	10 (3)	10 (2)	7 (1)	10 (3)	10 (2)	10 (2)
Сверхтяж. Автомобили	0	0	0	5	5	5
Σ	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Таблица 4.

Коэффициент увеличения стоимости для тяжелых автомобилей

Масса автомобиля, т	$\xi_{\text{trk}(i)}$
От 15 до 20	1.2
От 10 до 30	1.5
Свыше 30	2

Таблица 5. Разбиение всего диапазона состояний стандартного элемента №1171
«Асфальтовое, асфальтобетонное покрытие проезжей или проходной части».

Характеристика условий движения	Категория состояния	Износ, %		Повреждение (состояние)
		Нормир.	Абсолютный	
Комфортность $I \leq 20\%$	1	12,5	10	Одиночные (с шагом не чаще 5 м) поперечные трещины. Трещины в покрытии в зоне деформационных швов (раскрытие до 3 мм).
	1,5	25	20	Одиночные неровности глубиной/высотой до 1 см (просвет под 3 м рейкой). Волны на части длины (не более 20%) высотой до 1 см. Продольные и поперечные трещины раскрытием до 10 мм без бугров и выбоин.
Плавность $20\% < I \leq 40\%$		2	37,5	30
	50		40	Повсеместные трещины с раскрытием свыше 10 мм отрывом кусков асфальта. Колейность покрытия, наплывы у бордюра (тротуара) на длине до 50% моста высотой до 5 см. Неровности (бугры или ямы), образованные деформационными швами или рядом со швами, высотой до 50 мм.
	2,5	62,5	50	Частое вспучивание асфальтобетона, неровности глубиной до 50 мм на площади свыше 50%, колейность с наплывами вдоль бордюра (на части длины) свыше 5 см. Отдельные одиночные (свыше 0,5 м ²) выбоины до защитного слоя.
		3	75	60
87,5	70		Одиночные крупные по площади (до 1 м ²) выбоины с повреждением защитного слоя или отдельные выбоины до 0,5 м ² с шагом свыше 5 м. Волны в зоне деформационных швов до 100 мм. Колейность и наплывы вдоль бордюра более 10 см на длине не свыше 50%.	
100	80		Повторяющиеся (чаще, чем через 5 м) крупные по площади (до 1 м ²) выбоины с повреждением защитного слоя и обнажением арматуры. Другие более обширные и серьезные разрушения.	

Табл. 6. Спецификация исходных данных расчета финансовых потребностей на содержание и ремонт мостовых сооружений

Обозначение	Размерность	Наименование	Величина по умолчанию	Источник
α		Аварийный параметр сужения	6.5	
β		Скоростной параметр сужения	2	
γ		Коэффициент объемов работ	0.75	
ξ_{vw}		Коэффициент влияния сужения на скорость	0.35	
ξ_{bpass}		Коэффициент снижения скорости на объезде	0.8	
ξ_{v4100}		Коэффициент снижения скорости движения автомобилей из-за плохого состояния мостового полотна	0.6	
$C_{gen(AV)}$	руб/час	Средняя стоимость эксплуатации единицы транспорта	100	
C_{psngr}	руб/чел-час	Средняя величина потерь от транспортной усталости	50	
C_{acc}	руб/(м*авт*км*сутки)	Коэффициент потерь от ДТП на единицу (1 м) ширины проезжей части		
$k_{RepCorr}$		Поправочный коэффициент повышения трудоемкости ремонтных работ	1.5	
L_{bpass}	м	Длина объезда	5000	
L_{infl}	м	Зона влияния сужения	700	
P_{cr}		Количество пассажиров в одном легковом автомобиле	3	
P_{bus}		Количество пассажиров в одном автобусе	50	
P_{tbus}		Количество пассажиров в одном троллейбусе	80	

Приложение 2.

Схема оптимизации ремонтной стратегии применительно к группе объектов (мостовой сети)

