



ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Верослав КАПЛАН
veroslav.kaplan@unob.cz

*Верослав Каплан, доц., инж., ктн., Университет обороны, Коуницова 65, 61200 Брно,
ЧЕХИЯ*

Резюме: В статье говорится об возможности вероятностного подхода к определению грузоподъемности эксплуатируемых автодорожных мостов. Приведены условия, после выполнения которых этот подход возможен.

Ключови думи: Автодорожный мост, пролетное строение, резерв надежности, нагрузка, эксплуатационной грузоподъемности, вероятность появления дефекта, индекс надежности, полувероятностная теория

ВВЕДЕНИЕ

Мостовики в Чехии тревожить состояние мостов в стране. Свыше 2000 мостов нужно отремонтировать. Два гота тому назад была направлена петиция в палату депутатов, которая обращала их внимание на катастрофическое состояние мостов в стране. В Чехии, пока не случилось дорожное происшествие из за плохого состояния моста. Этот факт ведёт граждан к опасному оптимизму о больших резервах в грузоподъемности мостов. Не достаток финансовых средств выделяемых государством на содержание транспортной инфраструктуры не позволяет улучшить состояние мостов в стране.

РАЗДЕЛ 2 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МОСТОВ В ЧЕХИИ

На дорогах Чехии построено 16 453 мостов, из которых 1352 было построено еще в 19. веке и с выше 4 000 старше шестидесяти лет.

Таблица 1.

Мосты в Чехии	
Класс дороги	Количество мостов
Магистральны шоссе	545
Шоссе первого класса	3 388
Шоссе второго класса	4 481
Шоссе третьего класса	8 039
Всего	16 453

После 1989 г. финансовые средства вкладывались в строительство новых скоростных и магистральных шоссе. Состояние мостов на остальных дорогах резко ухудшалось. В 1996 г. на неустойчивость этого тренда тревожно показывали мостовики. После этого Министерство транспорта приняло программу Воспроизводства фондов транспортной инфраструктуры ЧР. Было вычислено, что для выполнения программу воспроизводства требуется 7 миллиардов крон. Эта программа не была выполнена и правительства дальше вкладывали средства в строительство новых дорог. Состояние мостов за последних десять лет значительно ухудшилось. По настоящим прогнозам уже на содержание мостов требуется около 20 миллиардов крон.

В настоящее время в Чехии правительство старается экономить и вероятность того, что необходимые средства будут действительно вложены в содержание мостов, не высока. Для сохранения пропускной способности автомобильных мостов страны, необходимо искать новые направления в повышении срока службы мостов.

Для обсуждения возможности повышения срока инженерного сооружения необходимо определить его настоящее состояние. На основе знания основных характеристик состояния моста можно определить его надежность и грузоподъемность с учетом периода его постройки (знания расчетной нагрузки) и возможных эксплуатационных повреждений. Следующей задачей является определение срока дальнейшей эксплуатации или срок периодического ремонта и его объем.

В настоящее время определение грузоподъемности мостов по в Чехии действующим нормативам [1] проводится на основе детерминистического подхода, хотя эти нормативы говорят о том, что используют подход, основанный на теории предельных состояний. Грузоподъемность моста определяется как предельная несущая способность его наиболее слабой детали. Все расчетные параметры, входящие в расчет определены на основе детерминистического подхода – механические свойства строительных материалов конструкции моста, геометрические размеры моста а определение расчетной нагрузки.

РАЗДЕЛ 3 НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОПРЕДЕЛЕНИИ НАДЕЖНОСТИ МОСТОВ

При определении надежности теорию вероятности использовал профессор Шетлер [2]. В этой работе разработан теоретический подход. Его результату можно применить и к определению грузоподъемности автодорожных мостов.

Концепция применения теории вероятности при определении грузоподъемности моста.

В основе вероятностной концепции находится замена коэффициентов безопасности. Эти коэффициенты были

определены на основе опыта предыдущих поколений инженеров.

Надежность конструкции в современном понимании есть функцией семейства случайно переменных параметров, а поэтому также является случайно переменной величиной. Ее проектное значение можем определить из теории терпения риски нарушение конструкция, какую при эксплуатации конструкция допустить. Конструкция обозначать за надёжную, когда безупречно выполняет работу, для которой была проектирована по весь предполагаемый период срока службы. Мерой надежности есть так называемый **резерв надежности $G(t)$** , является функцией времени и имеет характер случайно переменной величины, зависимой на вектору случайно переменных параметров. Вероятностный метод первого уровня, который является фундаментом настоящей версия концепции **предельных состояний**, кодифицировать в стандартах для проектирования, ограничивает число параметров на два

$$G(t) = R(t) - S(t) \geq 0 \quad (1)$$

Нагрузка, которой конструкция подвергается, характеризуется функцией $S(t)$ которая имеет характер случайной функции нескольких переменных действующих с различной интенсивности, дисперсии а значимости. Например, у пролетных строений мостов эта случайная функция может быть рассмотрена как функция отдельных видов нагрузки с разной степенью дисперсии. Нагрузки постоянные с малейшей дисперсия, нагрузки случайные долговременные, у которых дисперсия есть больше, нагрузки случайные краткосрочные (подвижной состав) а нагрузки выплывающие из воздействие внешней среды (снег, ветер, термическое отклонения) с большой дисперсий. У мостов, по интенсивности главной случайной нагрузкой является нагрузка краткосрочная $S_T(t)$. Эту нагрузку можем выделить от остальных нагрузок и записать :

$$S(t) = \Sigma S_i(t) + S_T(t) \quad (2)$$

Устойчивость $R(t)$ зависят на прочности используемых строительных материалов, на геометрических характеристиках поперечных

сечений отдельных элементов конструкции пролетного строения, на деградации материала под воздействием среды и на качестве ухода за конструкцией моста. У сжатых элементов пролетного строения, снижение их несущей способности, за счет продольного изгиба или пучения стенок балок, проводится редуцирующим множителем. Его характер является функцией случайных переменных зависящих от геометрии пролетного строения и от геометрии поперечных сечений его отдельных частей, от ослабления поперечных сечений элементов моста, снижения силы преднапряжения и тд. Далее зависит от качества ухода за мостом, от технического обслуживания, а от качества и своевременности ремонта. Если подставить (2) в (1) после преобразования получим

$$z_T = [R(t) - \Sigma S_i(t)] / S_T(t) \geq 1 \quad (3)$$

Это выражение, является основной характеристикой при обсуждении о состоянии и грузоподъемности имеющихся конструкции мостов. Профессор Шетлер во своей работе [2] его называет **эксплуатационной грузоподъемности** пролетного строения, чтобы его отличить от грузоподъемности пролетного строения определенной по действующим стандартам и нормативам. Как мера надежность обычно применяет **вероятность появления дефекта** или **индекс надежности**.

Исходя из отношения (1), пак вероятность появления дефекта дана отношением:

$$P_f = P(G < 0) \quad (4)$$

Исходя из отношения (3), пак вероятность появления дефекта дана отношением:

$$P_f = P(z_T < 1) \quad (4a)$$

Критерий надежности в этом случае будет выражаться условием:

$$P_f < P_{fd} \quad (5)$$

где P_f есть проектная вероятность появления дефекта,

Проектная вероятность появления дефекта зависима:

- на значимости конструкции,
- на последствии возможной аварии,
- на запланированном сроке эксплуатации, или на планированном остаточном сроке службы,
- на характеру повреждений у действующих конструкций,
- на периоде и качестве осмотров моста и его деталей.

Определение проектной вероятности появления дефекта является одним из самых тонких моментов и является главным препятствием для использования вероятностных концепций на практике.

Индекс надежности β

Индекс надежности определен как отношение среднего значение резерва надежности к стандартной ошибке этой функция. При использовании резерва надежности из (1) после преобразования получим

$$\beta = (m_R - m_s) / \sqrt{(s_R^2 + s_s^2)} \quad (6a)$$

где индексы обозначают принадлежность к отдельным параметрам в выражения (1).

Если случайные переменные величины записаны в виде логарифмически нормального разделения, можно выражение для определения β записать в виде логарифма

$$\beta = \ln \frac{\frac{m_R}{m_s}}{\sqrt{(v_R^2 + v_s^2)}} \quad (6b)$$

Где v_R а v_s являются коэффициентами вариации стойкости а реакции на подвижную загрузку

Критерий надежности потом можно определить условием:

$$\beta \geq \beta_d \quad (7)$$

где β_d проектный индекс надежности, Проектный индекс надежности β_d , можно определить как вероятностную функцию с подобными параметрами, как проектная вероятность появления дефекта. Обыкновенно проектный индекс надежности назначается нулевого порядка.

Индекс надежности не обладает свойством общей действительности. Его можно использовать только тогда, когда выполнено условие, что резерв надежности имеет

нормальное распределение. Несмотря на это в печатных проектных подходах и рекомендациях применяется чаще, нежели вероятность появления дефекта. Индекс надежности используется про свою наглядность и практичность.

Для симуляции резерва надежности, по выражения (1), или (3) чаще всего применяется метод MONTE- CARLO.

Полувероятностная теория - метод частичных сомножителей надежности

Полувероятностные методы создают переход между детерминистическими и вполне вероятностными методами. Использование формальных подходов и некоторых понятий, известных из детерминистических методов, выгодно для инженерной практики. Полувероятностный подход был широко использован при создании Eurocode. Он известен как метод парциальный сомножитель надежности. Отдельные случайно переменные параметры обрабатываются статистическими методами. Проектные значения этих параметров, определены как квантиль, установленный с парциальной проектной вероятностью, которая установлена из проектной вероятности появления дефекта P_{fd} по отношению (4). Парциальный сомножитель надежности, позволяющие допуски экстремальных значений случайно переменный параметров от номинальный значений, являются обыкновенно в нормативах приведены в таблицах. Формально вычисление сближается с детерминистическим пониманием. Нормативы (государственные стандарты) для проектирования вводят парциальный сомножитель надежности нагрузки, дальше вводят сомножитель нагрузки $\gamma_{F,i}$, который дифференцированный в зависимости от типа нагрузки и парциальный сомножитель надежности материала γ_M , который дифференцированный в зависимости от типа нагрузки и степени допустимой пластификации материала сечения. Некоторые инженерные вычислительные методы, пытаются больше всего упростить вычисление. Как правило, восстанавливают число сомножитель надежности на 1, и таким образом формально вычисление переводит на расчёт по разрушающим усилиям.

Коэффициент надежности имеет в этом случае качественно высший уровень, потому что он был установлен на базе вероятностный методов.

РАЗДЕЛ 4 СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И ДИАГНОСТИ- РОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРОЛЕТ- НЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ

Мосты проектируются так, чтобы был обеспеченный их желаемые срок службы. Обыкновенно срок службы предусматривает на период ста лет. Срок службы зависят на конструкционном решении моста и его деталей, примененных строительных материалах, на их качестве, на охране моста от действия агрессивной среда и на уходе за сооружением. На срок возможной эксплуатации влияют также изменения подвижного состава и его интенсивности.

В Чешской республике по данным министерства транспорта состояние большое количество мостов является плохим и в некоторых случаях даже аварийным. Более чем одна треть мостов не отвечает требованию государственным стандартам Чехии по пространственному решению и не отвечают требованиям по их грузоподъемности.

Определение состояния конструкций автодорожных мостов для определения их грузоподъемности до сих пор проводится по требованиям государственного стандарта ČSN 73 6220.

Состояние моста может быть определено:

- на основе диагностического обследования,
- на основе общей оценки.

При определении состояния моста на основе общей оценки, конструкция моста может быть классифицирована классификационной степенью I- VII (от состояния безупречного по состояние аварийное). В зависимости от состояния моста, определении его грузоподъемности в расчет вводится сомножитель состояния моста которые меняется в диапазоне от 1,0 до 0,2. Этот детерминистический подход при определении

грузоподъемности моста не позволяет определить действительную грузоподъемность моста.

К определению истинного состояния моста имеет первостепенное значение диагностическое исследование моста. На основе результатов которого определяется действительное состояние моста и его отдельных частей. Далее определяется способность конструкции моста переносить статические и динамичное воздействие нагрузка от действия подвижного состава. В ходе диагностического исследования моста выявляется состояние конструкции моста и его частей с точки зрения механических свойств строительных конструкционных материалов при оценка деградация материалов.

Качество диагностики зависит в первую очередь на человеческом факторе, то есть на квалификации и опыте рабочих проводящих эти работы.. В особенности руководитель работ по диагностике конструкции моста должны находиться на таком квалифицированном уровне, чтобы понимали конструкция, были способны подметить невралгический точки конструкция и обратить на них при осмотре повышенную бережность. Дальше качество диагностики зависят на уровне диагностического оборудования. На качество и успех диагностики влияет тщательность подготовки перед её осуществлением. Обычно производятся оценка мостовые конструкции как целое, где с следуют прогиб, осадка и влияние строительных работ при содержании моста на отдельные части мостовые конструкции. Следующим шагом является наблюдение и диагностика отдельных частей мостовой конструкции (основание, верхнее и нижнее строение моста, устой, вспомогательное оборудование). Проверка качества и состояния отдельных свойств примененных строительных материалов (конструктивно сталь, бетон, бетонная арматура, переключающий арматура, заполнение каналов, и т. д.)

Перед началом работ по обследовании поста является выгодным составить проект диагностики моста. Этот проект должен был заключать в себе эскиз конструкции с маркировка мест потенциальных неисправностей, установить места испытания качества строительного материалов и место

отбора образцов для лабораторного исследования. Перед выполнением диагностики не обходимо ознакомиться с результатами предыдущих обысков. Большое значение имеет правильность и точность записи обнаруженных неисправностей и повреждений. Важную информацию о поведении моста и его состоянии имеет долговременное наблюдение за конструкцией моста. Для этого можно использовать запись деформаций пролетного строения при проходе по мосту крупно габаритного транспорта (автопоезда).

Для автодорожных мостов была в Чехии в марте 2004 завершена разработка экспертной система управления содержания автодорожных мостов. Рабочее название системы BMS (Bridge Management System) а навязывает на каталог неисправностей [3]. Система дальше зарабатывается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объективное определение состояния мостов ЧР имеет большое значение для распределения ограниченных финансовых средств на содержание и уход за мостами и при планировании ремонта мостов. После наполнения базы данных об отдельных мостах, появится возможность определить статистические параметры входящих в расчет моста при использовании вероятностных методов. И тогда появиться возможность определения надежности моста и в следствии определение эксплуатационной грузоподъемности пролетного строения.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] ENV 1991-3 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Část 3: Zatížení mostů dopravou ČNI, 1996
- [2] Šertler, H. Stanovení spolehlivosti stávajících železničních mostů. Vědeckotechnický sborník ČD, 1999, č.7
- [3] Katalog závad mostních objektů pozemních komunikací. MDaS ČR, 2000.

Работа была осуществлена благодаря поддержке проекта FVT000404 „Диагностика материалов конструкций специальных сооружений“.

DIAGNOSTICS OF ROAD BRIDGES CONDITION AND DEFINING LOAD CAPACITY

Veroslav Kaplan

*Assoc. Prof. Veroslav Kaplan, University of Defence, 65 Kounitsova, 61200 Brno,
CZECH REPUBLIC*

Abstract: *The paper presents the possibility of probability approach to defining load capacity of operated road bridges. The conditions whose satisfaction will make this approach possible are given.*

Key words: *road bridge, reliability reserve, load, operational load capacity, probability of defect appearance, index of reliability, semi-probability theory.*