

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА И СТРУКТУРЫ ИХ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ

Викладено основні положення запропонованої методики оцінки обсягу і структури поточного утримання залізобетонних прогонових будов мостів за їх станом, розробленої на основі методів теорії надійності і математичної статистики. В методиці передбачається, що планування необхідних ремонтів і замін прогонових будов мостів виконується на основі аналізу стану споруд в заданий період часу і їх поведінки протягом усього строку експлуатації, шляхом мінімізації витрат на проведення ремонтних робіт чи замін. В результаті визначається доцільність подальшої експлуатації споруд за умови, що витрати на ремонти не перевищують доходів від їх експлуатації.

Изложены основные положения предложенной методики оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений мостов по их состоянию, разработанной с применением методов теории надежности и математической статистики. Методика предполагает, что планирование необходимых ремонтов и замен пролетных строений мостов выполняется на основе анализа состояния сооружения в заданный период времени и поведения сооружения на протяжении всего периода его эксплуатации, путем минимизации затрат на проведение ремонтных работ или замен. Определяется целесообразность дальнейшей эксплуатации сооружений при условии, что затраты на ремонты не превышают доходов от эксплуатации.

The article enlists fundamentals of the proposed method of estimating the volume and structure of current maintenance of reinforced concrete spans of bridges, according to their current state, developed with the use of methods of reliability theory and mathematical statistics. The method stipulates that the planning of obligatory repairs and changes of the span structures on the bridge is carried out on the basis of an analysis of the state of the facility in a certain period of time and its behavior during all of the service life, by way of minimization of the costs of the repair works or changes. Expediency of further operation of the facility is determined, provided that the costs of its repair do not exceed the incomes from its operation.

В настоящее время вопросы повышения надежности эксплуатируемых сооружений и уменьшение затрат на их текущее содержание являются важными и интересуют не только службы, которые непосредственно занимаются эксплуатацией и содержанием сооружений, но и научных работников в области строительных конструкций и мостостроения. Сегодня безусловным является применение вероятностных методов при оценке технического состояния эксплуатируемых сооружений и прогнозирования их дальнейшей эксплуатации. На основе этих методов разрабатываются положения и строительные нормы оценки технического состояния сооружений, нормируются показатели надежности и долговечности как для проектируемых сооружений, так и для эксплуатируемых.

В лаборатории искусственных сооружений Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна в результате научных исследований разработана методика оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных про-

летных строений мостов по их состоянию. Основной целью расчета по разработанной методике является планирование необходимых ремонтов и замен пролетных строений мостов на основе анализа состояния сооружения в заданный период времени и поведения сооружения на протяжении всего срока его эксплуатации, путем минимизации затрат на проведение ремонтных работ или замен. В результате чего определяется целесообразность дальнейшей эксплуатации сооружения при условии, что затраты на его ремонты не превышают доходов от его эксплуатации.

Предлагаемая методика разработана на основе положений теории надежности, численных методов прикладной математики и нормативно-технической документации, касающейся текущего содержания пролетных строений мостов.

Блок-схема методики оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений мостов по их состоянию приведена на рисунке.



Рис. Блок-схема проведения работ по оценке объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов по их состоянию

Одним из серьезных ограничений использования теории выносливости является её зависимость от объема и достоверности исходных данных. В соответствии с этим, помимо этапов основного цикла работ (отмеченных жирным шрифтом на блок-схеме) предусмотрены дополнительные работы, направленные на возможное повышение достоверности получаемых с использованием методики оценок. Соответствующие этапы работ отмечены обычным шрифтом – этапы работ № 4.1, 4.3, 4.4.

Действие методики распространяется на основные элементы железобетонных пролетных строений.

При оценке объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений мостов используются следующие исходные данные, характеризующие состояние их основных элементов:

- анализ эксплуатационной документации (периодичность появления и устранения дефектов на пролетном строении моста);
- оценка степени влияния дефектов железобетонных пролетных строений на пропускную способность искусственного сооружения;
- история сооружения с указанием возможных аварийных и иных ситуаций, влияющих на долговечность основных элементов искусственных сооружений.

Оценки целесообразных характеристик выполнения работ по текущему содержанию пролетных строений железобетонных железнодорожных мостов, полученные с применением данной типовой методики, могут служить основанием для назначения их периода, объемов и структуры.

В предлагаемой методике рассматриваются дефекты пролетных строений мостов, возникновение которых не связано с физико-механическими и химическими процессами в процессе длительной эксплуатации, например, усталостные разрушения. Данное ограничение связано с основными принципами теории надежности и невозможностью сбора представительной статистики данного типа для отдельных регионов эксплуатации мостов и отдельных искусственных сооружений.

Положения и основные расчетные экономические соотношения предлагаемой методики могут быть распространены на дефекты, приводящие сооружение к предельному состоянию. При этом они должны быть объединены с расчетными соотношениями утвержденных методик оценки сроков возникновения таких дефектов при эксплуатации искусственного сооружения.

Основной особенностью искусственных сооружений, в частности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов, является то, что они, подобно большей части инфраструктуры железной дороги не приносят прибыли в денежном исчислении непосредственно. Выделение доли прибыли, получаемой благодаря наличию и работоспособному состоянию мостов, является весьма сложной задачей.

Неудовлетворительное состояние искусственных сооружений может вызывать снижение общей прибыли от процесса перевозок, связанное со следующими обстоятельствами:

- потери на уменьшение и последующий набор скорости, связанные с ограничением скорости движения поездов по искусственному сооружению;
- потери, связанные с ограничением грузоподъемности искусственного сооружения и недоиспользованием пассажиро- и грузопропускной способности направления;
- потери, связанные с обходным движением поездов, минуя неработоспособное искусственное сооружение.

Трактуя уменьшение потерь от неработоспособного (ограниченно работоспособного) состояния как условную прибыль, для существующего и действующего искусственного сооружения (без учета капитальных вложений на его постройку) можно предложить следующий подход к оценке экономической эффективности его эксплуатации: расходы на приведение искусственного сооружения в работоспособное состояние не должны превышать уменьшение потерь прибыли от перевозочного процесса, связанных с его неработоспособностью или ограниченной работоспособностью.

Условием наибольшей экономической целесообразности эксплуатации существующего и действующего сооружения будет

$$\Delta c = c_n - c_b \rightarrow \max ,$$

где Δc – удельный показатель эффективности; c_n – удельные (на принятую единицу времени) возможные потери из-за ограничения работоспособности сооружения; c_b – удельные (на единицу времени) затраты на ремонт или текущее содержание дефектного сооружения.

Максимально эффективным текущее содержание искусственного сооружения является в случае выполнения соотношения

$$\Delta c \geq 0; \quad |\Delta c| \rightarrow \max .$$

При положительном балансе возможных потерь и затрат на устранение их причин, абсолют-

ная величина удельного показателя эффективности текущего содержания должна быть максимальной, что обеспечивается назначением оптимального объема и структуры работ по текущему содержанию искусственного сооружения.

К категории постоянно убыточных относятся искусственные сооружения у которых расходы на поддержание работоспособного состояния не покрываются условной прибылью от эксплуатации. В этом случае выполняется неравенство

$$\Delta c < 0; \quad |\Delta c| \rightarrow \min,$$

при этом в случае принятия решения об эксплуатации искусственного сооружения система его текущего содержания должна обеспечивать минимальную абсолютную величину отрицательного баланса возможных потерь и затрат на их устранение.

Критерием целесообразности замены элементов искусственного сооружения является выражение

$$\Delta c = c_n - \sum_{i=1}^n \frac{C_{zi}}{T_{пр i}} \geq 0,$$

где c_n – удельные (на принятую единицу времени) возможные потери от неработоспособного или ограниченной работоспособности сооружения; n – количество элементов сооружения, подлежащих ремонту или замене при производстве ремонта; C_{zi} – стоимость замены i -го элемента конструкции искусственного сооружения, включая стоимость производства работ и стоимость элемента (в случае его замены); $T_{пр i}$ – назначенный срок службы i -го элемента конструкции сооружения.

Критерием целесообразности в случае частичной замены основных элементов искусственного сооружения является уравнение

$$\Delta c = c_n - c_b - \sum_{i=1}^n \frac{C_{zi}}{T_{пр i}} \geq 0,$$

где c_b – удельные затраты на восстановление работоспособного состояния сооружения для всех его элементов, в том числе, новых.

Ограничение работоспособности искусственного сооружения приводит к снижению скорости движения по нему пассажирского и грузового подвижного состава. Тем самым уменьшается его пропускная способность, что приводит к экономическим потерям.

На основании [1] потери от ограничения скорости движения по искусственным соору-

жениям сводятся, в основном, к убытку от дополнительного расхода энергии на торможение состава с последующим набором тяги. Данные потери могут быть сведены к минимуму при активном использовании рекуперативного торможения.

Потери от ограничения скорости движения подвижного состава по искусственным сооружениям, с учетом оценок работы [1], оцениваются по формуле

$$c_n = \sum_{i=1}^{n_v} x_{огр.i} \left[\begin{array}{l} N_{огр.i} \cdot \Delta t_i \cdot C_{пч} + (1 - K_{рт}) \times \\ \times \frac{3,8(P + Q_{бр})}{10^6} (\vartheta_{уч1}^2 - \vartheta_{уч2i}^2) \times \\ \times a_T \cdot e_T \end{array} \right],$$

где n_v – количество градаций ограничений скорости движения по искусственному сооружению; $x_{огр.i}$ – вероятность нахождения сооружения в состоянии ограничения скорости движения $\vartheta_{уч2i}^2$; $K_{рт} = N_{рт} / N_o$ – коэффициент использования рекуперативного торможения при отсутствии надежных данных принимается равным нулю $K_{рт} = 0$; $N_{рт}$ – количество поездов, использующих рекуперативное торможение при проходе сооружения за выбранный промежуток времени (предпочтительно сутки); N_o – общее число поездов, проходящих сооружение за выбранный промежуток времени; $N_{огр.i}$ – число поездов на участке за период действия предупреждения; Δt_i – изменение времени хода поезда по участку, ч; $C_{пч}$ – стоимость простоя поезда в течении 1 ч; P – масса локомотива, брутто, т; $Q_{бр}$ – масса поезда брутто, т; $\vartheta_{уч1}$, $\vartheta_{уч2i}$ – участковые скорости, установленные соответственно на перегоне и в период действия предупреждения в i -й градации ограничения скорости; a_T – удельный расход условного топлива для перевозки 1 млн т груза, т.; e_T – стоимость 1 т условного топлива, грн.

Неработоспособность искусственного сооружения приводит к необходимости использования альтернативных путей и способов направления пассажиро- и грузопотока. Это приводит к экономическим потерям за счет удлинения маршрутов или перегрузки грузов при использовании альтернативных видов транспорта.

Потери от неработоспособного состояния искусственного сооружения, с учетом данных работы [1], оцениваются по формуле

$$c_{\text{н}} = x_{\text{нр}} \left[N_{\text{ср}} \cdot \Delta t \cdot C_{\text{пч}} + \frac{3,8(P + Q_{\text{бр}})}{10^6} \times \right. \\ \left. \times \left(\left(\frac{L_{\text{уч1}}}{t_{\text{уч1}}} \right)^2 - \left(\frac{L_{\text{уч1}}}{t_{\text{уч2}}} \right)^2 \right) a_{\text{т}} \cdot e_{\text{т}} \right],$$

где $x_{\text{нр}}$ – вероятность нахождения искусственного сооружения в неработоспособном состоянии; $N_{\text{ср}}$ – среднее число поездов на участке при работоспособном состоянии сооружения; $L_{\text{уч1}}$ – длина участка, измеренная от узловых станций обходного маршрута; $t_{\text{уч1}}$ – время в пути при движении по маршруту, включающему неработоспособное сооружение; $t_{\text{уч2}}$ – время в пути при движении по обходному маршруту.

Затраты, связанные с одновременным усилением пролетных строений и их дальнейшей эксплуатацией, определяются по формуле, разработанной на основе выражения в [2], применяемого при оценке технико-экономической эффективности производства работ по реконструкции металлических железнодорожных мостов

$$c_{\text{в}}^I = \left[K_0^Y + \sum_1^t \frac{C_t}{(1 + E_{\text{нп}})^t} \right] k_{\text{нр}},$$

где K_0^Y – единовременные затраты на усиление пролетного строения; t – период в годах с момента производства усиления, ограничивающий суммирование затрат; C_t – ежегодные эксплуатационные расходы, включающие амортизационные отчисления и нормативные затраты по текущему содержанию усиленного или нового пролетного строения; $E_{\text{нп}}$ – норматив для приведения разновременных затрат, принимаемый в размере 0,08 [2]; $k_{\text{нр}}$ – количество пролетных строений, на которых произведено единовременное усиление (ремонт, замена).

В случае, когда на искусственном сооружении выполнялась неоднократная реконструкция пролетных строений, общая затратная часть восстановления его работоспособности определяется как сумма затрат на производство каждого усиления или реконструкции

$$c_{\text{в}}^I = \sum_{i=1}^{k_p} c_{\text{в}i}^I,$$

где k_p – количество реконструкций (ремонтов, усилений) пролетного строения; $c_{\text{в}i}^I$ – затраты, связанные с проведением i -й реконструкции.

Затраты, связанные с заменой пролетных строений и их дальнейшей эксплуатацией, определяются по формуле, применяемой при оценке технико-экономической эффективности производства работ по реконструкции металлических железнодорожных мостов [2]

$$c_{\text{в}}^{II} = \left[K_0^C + \sum_1^t \frac{C_t}{(1 + E_{\text{нп}})^t} \right] k_{\text{нр}},$$

где K_0^C – единовременные затраты на замену пролетного строения; t – период в годах с момента производства замены пролетного строения, ограничивающий суммирование затрат.

В случае, когда на сооружении выполнялась неоднократная замена пролетных строений, общая затратная часть восстановления его работоспособности определяется как сумма затрат на производство каждого усиления или реконструкции

$$c_{\text{в}}^{II} = \sum_{i=1}^{k_p} c_{\text{в}i}^{II},$$

где k_p – количество замен пролетных строений;

$c_{\text{в}i}^{II}$ – затраты, связанные с проведением i -й замены пролетных строений.

На основе созданной в ДИИТе базы данных по дефектам железобетонных железнодорожных мостов, эксплуатируемых на Приднепровской железной дороге, определяются интенсивности отказов методами теории надежности [3], где дефекты и повреждения трактуются как отказы. Время появления дефекта, его обнаружения и устранения характеризуется как нахождение моста в дефектном состоянии.

Порядок определения интенсивности отказов следующий:

- на основе базы данных о дефектах железобетонных железнодорожных мостов составляются временные диаграммы состояний сооружений. В диаграммах отображается изменение состояний мостов и переход из состояния в состояние при различных сроках устранения выявленных дефектов;

- подсчитываются интенсивности отказов по формуле

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{t_{ij, \text{ср}}},$$

- и строятся графы перехода сооружений из состояния в состояние;

- на основе графов составляются дифференциальные уравнения следующего типа:

$$\frac{dx_j}{dt} = \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} x_i,$$

где $j = 1, n$;

– уравнения решаются путем интегрирования на ЭВМ.

– определяются вероятности бездефектного состояния и состояния дефектности при комбинации различных групп дефектов и для каждой группы дефектов отдельно.

– строятся и анализируются графики вероятности нахождения мостов в состоянии дефектности и бездефектном состоянии.

На основе изложенных выше основных положений предложенной методики оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений мостов по их состоянию можно сделать вывод, что учет влияния дефектов и повреждений при эксплуатационной оценке состояния железобетонных мостов позволит планировать проведение ремонтов по устранению разных групп дефектов в разные сроки с прогнозом на весь период жизненного цикла моста. Такой подход позволит значительно сэкономить средства на ремонты и даст возможность продлить срок эксплуатации сооружений. Применение вероятно-

стного расчета надежности и долговечности эксплуатируемых железобетонных мостов с учетом дефектов и повреждений, наряду с традиционными расчетами по определению грузоподъемности мостов, позволит получить более полную картину технического состояния сооружения в момент обследования, сделать соответствующие выводы и разработать рекомендации по его дальнейшей эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шульга В. Я. Экономика путевого хозяйства: Учебник для ВУЗов железнодорожного транспорта / В. Я. Шульга, В. И. Анелейко, А. Л. Комаров и др. – М: Транспорт, 1988. – 303 с.
2. Указания по определению экономической эффективности работ по капитальному ремонту искусственных сооружений. Л: МПС – ЛИИЖТ, 1977. – 77 с.
3. Борщов В. И. Анализ методом теории надежности дефектов и вероятности их появления в эксплуатируемых железобетонных пролетных строениях железнодорожных мостов / В. И. Борщов, А. И. Паламаренко, В. И. Соломка, О. П. Вышкварок // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2000. – № 59. – С. 12–21.

Поступила в редколлегию 06.05.04.