

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА И СТРУКТУРЫ ИХ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ

Запропоновано викладені основні положення методики проведення робіт з оцінки технічного стану залізобетонних прогонових будов мостів і визначення обсягу і структури їх поточного утримання, розробленої на основі методів теорії надійності і математичної статистики. У методиці передбачається, що планування необхідних ремонтів і заміни 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 заміни. Визначається доцільність подальшої експлуатації споруд за умови, що витрати на ремонт не перевищують доходів від експлуатації.

Предложены основные положения методики проведения работ по оценке технического состояния железобетонных пролетных строений мостов и определения объема и структуры их текущего содержания, 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 proposes fundamentals of working method of assessment of technical state of reinforced-concrete span structures of bridges and determination of the volume and structure of their current maintenance, 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.

Оценка технического состояния эксплуатируемых искусственных сооружений и разработка мероприятий по их содержанию и ремонту является первостепенной задачей для служб осуществляющих эксплуатацию действующих сооружений. В настоящее время этот вопрос решается на основе научных методов с применением теории надежности и математической статистики.

Целью оценки технического состояния и условий эксплуатации искусственных сооружений, по разработанной в ДИИТе методике, является изучение и определение действительного физического состояния конструкций моста, выявление недостатков проекта и строительства, а также дефектов и расстройств, появившихся в процессе эксплуатации, определение степени повреждений и их влияние на грузоподъемность, безопасность движения транспорта и долговечность сооружения, а также

разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации сооружений.

В статье изложены основные положения методики оценки объема и структуры текущего содержания железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов по их состоянию.

Источником информации о техническом состоянии железобетонных железнодорожных мостов на протяжении их срока службы являются:

– техническая, проектная и эксплуатационная документация, в которой хранятся сведения о состоянии моста на протяжении всего его жизненного цикла;

– сведения о дефектах пролетных строений, получаемые из отчетов по сплошным обследованиям, выполненным мостоиспытательными станциями, хранящихся в отделах искусственных сооружений управлений железных дорог Украины;

– отчеты о специальных обследованиях по оценке технического состояния мостов, выполненных сторонними организациями по заказу управлений железных дорог или Укрзалізниця;

– карточки искусственных сооружений, хранящиеся в отделах искусственных сооружений управлений железных дорог Украины и сведения о выполненных капитальных ремонтах сооружений или заменах пролетных строений на новые конструкции.

Качество и полнота обследований пролетных строений имеют огромное значение при определении фактической надежности, долговечности и грузоподъемности мостов. Поэтому в последние годы в методику обследований внедряют системный подход к организации сбора, переработки и анализа информации о состоянии искусственных сооружений. Создание информационно-поисковых систем искусственных сооружений позволяет хранить, накапливать и изменять данные об их состоянии на протяжении всего жизненного цикла. А также систематизировать, производить статистическую обработку информации о дефектах, классификацию дефектов и повреждений, определить характер и динамику их развития.

При обследовании мостов необходимо в первую очередь обращать внимание на дефекты, которые могут приводить к ограничению их работоспособности либо служить причиной их перехода в предельное состояние.

Методика обследования железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов согласно [1] включает следующие этапы:

- изучение технической документации (проектной, исполнительной и эксплуатационной);
- осмотр сооружения с замерами его основных геометрических параметров;
- определение механических характеристик материалов;
- инструментальная съемка и контрольные измерения;
- черчение элементов;
- составление ведомости дефектов;
- фотографирование конструкции, а также ее дефектов;
- выводы и разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации искусственного сооружения.

Для оценки технического состояния эксплуатируемых железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов с использованием методики оценки объема и структуры

текущего содержания по их состоянию необходимо тщательное фиксирование выявленных дефектов и повреждений, изучение документации отражающей время и характер появления дефектов и повреждений, а также время устранения их на протяжении всего жизненного цикла моста.

Следует фиксировать следующую информацию:

- принадлежность дефекта к той или иной группе;
- время появления дефекта;
- время устранения дефекта;
- периодичность сплошных осмотров;
- время проведения капитальных ремонтов, если таковые имели место;
- время выполненных замен или усиления как пролетного строения, так и отдельных элементов конструкции.

Вследствие недостаточности регистрации информации о дефектах, практически всегда имеет место дефицит объема информации об истории появления и устранения дефектов пролетного строения отдельно взятого моста.

С целью повышения достоверности прогноза о влиянии структуры и объема проведения работ по текущему содержанию искусственных сооружений на их надежность и долговечность допускается объединение данных о возникновении и устранении дефектов пролетных строений мостов подобного типа.

Критерии возможности объединения информации о дефектах искусственных сооружений представлены в табл. 1.

Данная методика не предполагает применение научно обоснованного учета физико-механических процессов в материале железобетонных искусственных сооружений в период их эксплуатации. Она основана на использовании определенных формальных результатов (предыстории) эксплуатации искусственных сооружений.

В соответствии с обзором экспериментальных данных [2], предполагается линейная зависимость интенсивностей возникновения дефектов пролетных строений мостов от времени.

Использование данной методики возможно при наличии представительной статистики о появлении дефектов, включающей не менее 20 наблюдений в каждом принятом периоде обследований сооружения, при этом предполагается, что интенсивности появления отказов являются функциями времени

$$\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(t) = a_{ij} + b_{ij}t.$$

Критерии возможности объединения информации о дефектах ИС

Наименование критерия	Название предельного значения	Предельное значение, %
Расположение однотипных мостов на одной магистральной линии в одинаковых климатической и экологической зонах	–	–
Расположение однотипных мостов на разных магистральных линиях в одинаковых климатической и экологической зонах	максимальное отличие грузонапряженности на искусственном сооружении	15
Расположение железобетонных мостов различного типа на одной магистральной линии в одинаковых климатической и экологической зонах	отличие расчетных напряжений в местах появления дефектов	4
Расположение железобетонных мостов различного типа на разных магистральных линиях в одинаковых климатической и экологической зонах	максимальное отличие грузонапряженности на искусственном сооружении	11
	отличие расчетных напряжений в местах появления дефектов	4

Для определения поправочных коэффициентов к уравнению надежности общий период наблюдений появления дефекта (или группы дефектов) делится на два последовательных периода обследований сооружений равной продолжительности. Обработка данных каждого периода обследований с целью определения данных для решения уравнений надежности производится отдельно. В результате определяется интенсивность переходов в разные состояния работоспособности раннего (среднее время от начала обследований $0,25t_d$) λ_{ij}^I и позднего λ_{ij}^{II} (среднее время от начала обследований $0,75t_d$) этапов эксплуатации сооружения.

Определяются коэффициенты a_{ij} и b_{ij} согласно выражениям, которые закладываются в качестве параметров интенсивностей переходов λ_{ij} между состояниями сооружения в систему дифференциальных уравнений при ее решении:

$$a_{ij} = \lambda_{ij}^I - 0,25t_d \frac{\lambda_{ij}^{II} - \lambda_{ij}^I}{0,5t_d},$$

$$b_{ij} = \frac{\lambda_{ij}^{II} - \lambda_{ij}^I}{0,5t_d}.$$

Многовариантный расчет показателей надежности и экономической целесообразности эксплуатации железобетонных мостов является инструментом обоснованного выбора структуры и периодичности работ по их текущему содержанию.

Основными целями проведения расчета являются:

- оценка влияния дефектов и повреждений на показатели надежности железобетонных пролетных строений мостов и экономическую целесообразность их эксплуатации;
- выявление дефектов и повреждений, не влияющих на экономическую эффективность эксплуатации железобетонных мостов для принятия решений по их ремонту;
- выбор оптимальной, с экономической точки зрения, периодичности ремонта дефектов и повреждений, выбранных для корректирования периодичности проведения работ по их устранению.

В результате проведения расчета по данной методике, с учетом применения различных способов получения оптимальной оценки объема и структуры работ по текущему содержанию сооружения, может быть принято к рассмотрению несколько вариантов системы текущего содержания искусственного сооружения.

Варианты текущего содержания искусственного сооружения могут появиться благодаря следующим стратегиям оптимизации:

- изменение объема наиболее дорогостоящей операции с целью снижения стоимости работ по текущему содержанию искусственного сооружения;
- изменение объема наиболее массово выполняемой операции при текущем содержании искусственного сооружения;
- изменение структуры работ по текущему содержанию с целью достижения оптимальной надежности эксплуатируемого искусственного сооружения.

Критерии получения оптимального решения могут быть противоположными (так, например, повышение показателей надежности искусственных сооружений и снижение затрат на их содержание).

Целью оптимизации, в зависимости от конкретных условий эксплуатации искусственного сооружения, может быть:

- обеспечение наибольшего возможного уровня показателей надежности искусственных сооружений в условиях ограничения финансирования работ по их текущему содержанию;
- изменение структуры работ по текущему содержанию искусственных сооружений с сохранением, по возможности, показателей их надежности;
- снижение трудозатрат на проведение работ по текущему содержанию искусственных сооружений с сохранением, по возможности, показателей их надежности;
- снижение объема финансирования работ по текущему содержанию искусственных сооружений с сохранением, по возможности, показателей их надежности;
- обеспечение наибольшего возможного уровня показателей надежности искусственных сооружений в конкретных условиях их эксплуатации.

Далее на рисунке приведен алгоритм проведения многовариантного расчета показателей надежности и эффективности эксплуатации основных элементов искусственных сооружений.

В зависимости от цели проведения расчета в качестве объектов изменения регламентов ремонтных работ могут быть выбраны:

- группа дефектов, устранение которых связано с наибольшими финансовыми затратами;
- все группы дефектов для получения рационального распределения финансирования работ по их устранению;
- группа дефектов, устранение которых связано с наибольшим привлечением ремонтных рабочих и иного персонала;
- группы дефектов, которые по опыту эксплуатации слабо влияют на надежность сооружения;
- группы дефектов, наиболее влияющие на надежность сооружения.

При выполнении многовариантного расчета, в зависимости от цели его выполнения, могут быть использованы два основных способа достижения максимума критерия экономической целесообразности, а именно:

- варьирование единственного параметра – периода устранения дефектов пролетного строе-

ния единственной группы, выбранной для оптимизации (упрощенная оптимизация);

- одновременное варьирование группы параметров – периодов устранения дефектов групп, выбранных для оптимизации, или всех групп дефектов пролетного строения (полная оптимизация).

При упрощенной оптимизации одного параметра путем непосредственного подбора производят следующие действия:

- выбирают границы варьирования выбранного параметра устранения дефектов выбранной группы $t_{0\min}$, $t_{0\max}$;
- задаются шагом расчета

$$\Delta t_0 = (t_{0\max} - t_{0\min}) / 10;$$

- выполняют расчет по составлению и решению дифференциальных уравнений при задании времени устранения дефектов

$$t_{0y} = i \Delta t_0, \quad i = 0, 10;$$

- выбирают участок t_{\min}^I , t_{\max}^I , на котором критерий экономической эффективности ΔC достигает максимального значения, задаются шагом расчета

$$\Delta t^I = (t_{\max}^I - t_{\min}^I) / 10;$$

При упрощенной оптимизации одного параметра производят следующие действия:

- выбирают границы варьирования параметров устранения дефектов выбранной группы t_{\min} , t_{\max} , период устранения которой подлежит оптимизации;
- каждое последующее значение времени устранения дефектов выбранной группы определяется по предыдущему его значению согласно выражению метода Ньютона [3], преобразованного с учетом того, что необходимо определить минимум функции $1/\Delta c$, обратной показателю экономической целесообразности

$$T_{j+1} = T_j - \frac{T_j - T_{j-1}}{1 - \frac{\Delta C_j}{\Delta C_{j-1}}},$$

где T_{j+1} , T_j , T_{j-1} – соответственно новые значения времени устранения дефектов выбранной группы, время устранения дефектов на текущем шаге расчета и время устранения дефектов на предыдущем шаге расчета; Δc_j , Δc_{j-1} – значения функции экономической целесообразности на текущем j шаге расчета и на прошлом $j-1$ шаге расчета.

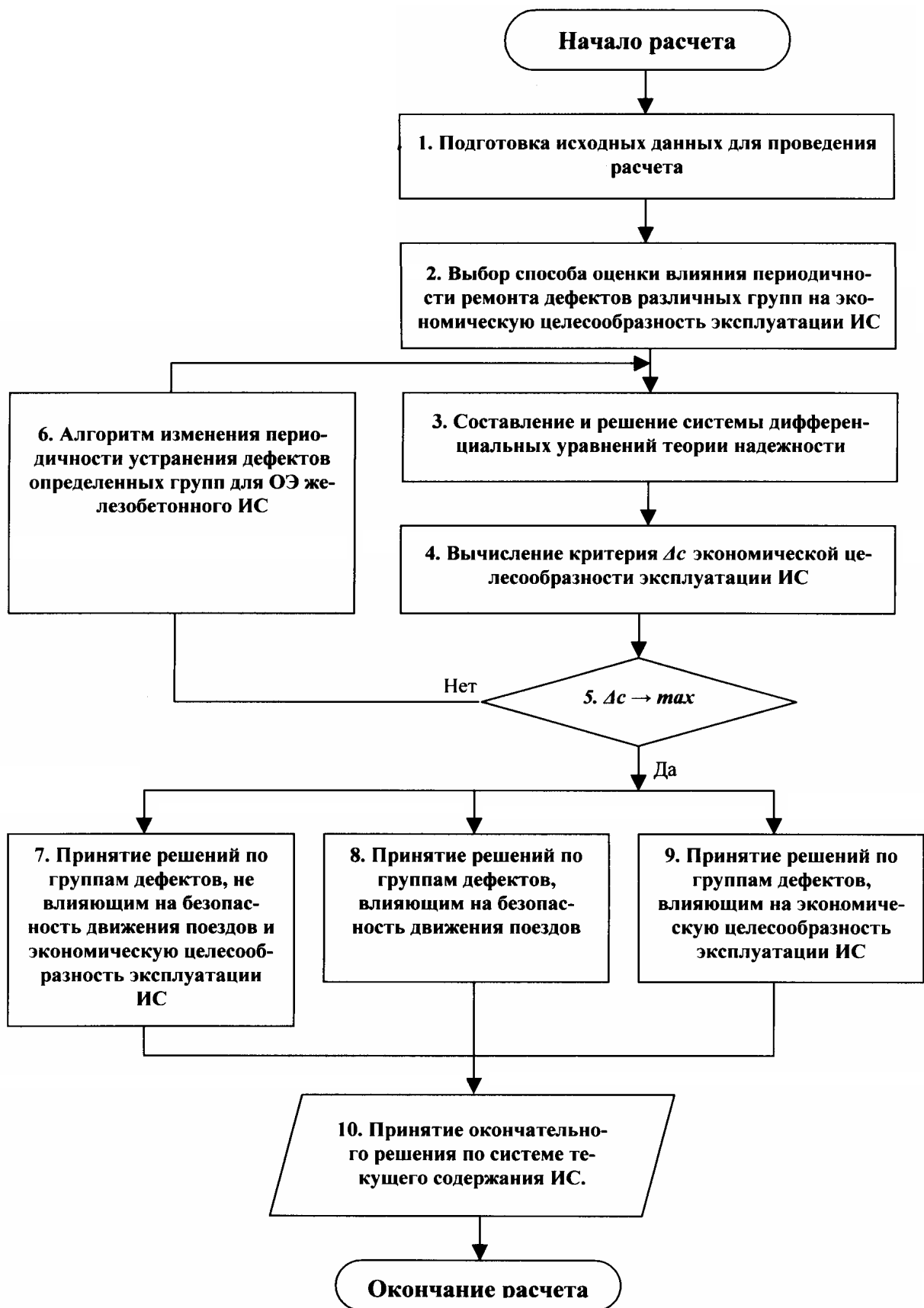


Рис. Алгоритм многовариантного расчета показателей надежности и эффективности эксплуатации основных элементов искусственных сооружений

При многопараметрической оптимизации системы параметров (поиск оптимальной надежности сооружения в результате смены объема и периодичности работы по его текущему содержанию) производят следующие действия:

– выбирают границы варьирования параметров устранения дефектов выбранных групп $t_{i\min}$, $t_{i\max}$, где $i=1, k$ – количество параметров (групп дефектов), период устранения которых подлежит оптимизации;

– каждый последующий вектор времен устранения дефектов определяется по предыдущему его значению согласно (предпочтительно) выражению метода Пауэлла [3];

– ввиду особой сложности расчета и большого объема вычислений, его выполнение должно осуществляться с использованием специальной компьютерной программы, реализующей указанные в методике методы и способы расчета.

Предложенная методика позволяет задавать различные исходные данные:

– варьировать время устранения дефектов для различных групп дефектов с учетом приближения их к реальным условиям эксплуатации;

– задавать различное время для получения прогноза состояний моста в процессе эксплуатации;

– комбинировать различные группы дефектов для получения их самого невыгодного сочетания, планируя проведение ремонтов.

На основании изложенных выше основных положений можно сделать вывод, что предлагаемая методика позволяет создать условия для разработки норм проведения текущего содержания сооружений по их состоянию, что, в конечном итоге, будет способствовать установлению обоснованных индивидуальных для искусственных сооружений норм на обеспечение их наиболее эффективного функционирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН В. 2.3-6-2002. Мости та труби. Обстеження і випробовування. – на заміну СНіП 3.06.07-86 – Введ. в дію 01.10.2002 р. – К.: Держ. ком. України з будівн. та архітектури, 2002. – 26 с.
2. Козлов Б. А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры, радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – М.: Советское радио, 1975. – 472 с.
3. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел. – М: Мир, 1986. – 349 с.

Поступила в редколлегию 06.05.04.