



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

N2, TOM 13 (2007) 87-95

УДК 624.014.2:69.059.4:725.42

(07)-0134-1

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

С.Б. Пчельніков

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.
E-mail: pcheln@mail.ru*

Отримана 4 квітня 2007; прийнята 20 квітня 2007

Анотація. У статті пропонується модель експлуатаційного процесу, заснована на використанні вірогідності безвідмовної роботи. Вірогідність безвідмовної роботи використовується для оцінки технічного стану окремих елементів, конструкцій і будівлі в цілому, а також для прогнозування зносу. При визначенні вірогідності безвідмовної роботи окремих елементів використовується метод Монте-Карло. Особливістю запропонованої методики є використання змішаного розподілу напруження при визначенні резерву міцності, отриманого шляхом обробки даних детерміністичного розрахунку елементів за методом граничних станів. Вірогідність безвідмовної роботи окремих конструкцій і будівлі в цілому визначається шляхом аналізу конструктивного і технологічного зв'язку елементів цих систем. Планування заходів щодо обслуговування конструкцій враховує розкид значень параметрів недосконалості при проведенні заходів щодо нагляду. У статті запропонований алгоритм визначення термінів проведення експлуатаційних заходів з урахуванням допустимого рівня безвідмовної роботи. Результатом оптимізації графіка проведення експлуатаційних заходів є визначення гарантованого значення вірогідності безвідмовної роботи будівельних конструкцій протягом заданого періоду при заданому рівні фінансування.

Ключові слова: будівельні конструкції, вірогідність безвідмовної роботи, графік експлуатаційних заходів, допустимий рівень безвідмовної роботи.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С.Б. Пчельников

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.
E-mail: pcheln@mail.ru*

Получена 4 апреля 2007; принята 20 апреля 2007

Аннотация. В статье предлагается модель эксплуатационного процесса, основанная на использовании вероятности безотказной работы. Вероятность безотказной работы используется для оценки технического состояния отдельных элементов, конструкций и здания в целом, а также для прогнозирования износа. При определении вероятности безотказной работы отдельных элементов используется метод Монте-Карло. Особенностью предложенной методики является использование смешанного распределения напряжений при определении резерва прочности, полученного путем обработки данных детерминистического расчета элементов по методу предельных состояний. Вероятность безотказной работы отдельных конструкций и здания в целом определяется путем анализа конструктивной и технологической связи элементов этих систем. Планирование мероприятий по обслуживанию

конструкций учитывает разброс значений параметров несовершенств при проведении мероприятий по надзору. В статье предложен алгоритм определения сроков проведения эксплуатационных мероприятий с учетом допустимого уровня безотказной работы. Результатом оптимизации графика проведения эксплуатационных мероприятий является определение гарантированного значения вероятности безотказной работы строительных конструкций в течение заданного периода при заданном уровне финансирования.

Ключевые слова: строительные конструкции, вероятность безотказной работы, график эксплуатационных мероприятий, допустимый уровень безотказной работы.

ASSUARANCE OF BUILDING STRUCTURES MAINTAINABILITY

S.B. Pchel'nikov

*The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzavin str., Makiyivka 86123, Ukraine.
E-mail: pcheln@mail.ru*

Received 4 April 2007; accepted 20 April 2007

Abstract. A model of the operational process based on using a probability of a no-failure operation is given in the article. A probability of a no-failure operation is used for estimating a technical state of separate elements, structures and a building as whole, as well as for forecasting a wear. When determining a probability of a no-failure operation of separate elements, the Monte Carlo method is used. A feature of the technique suggested is the use of a mixed distribution of stresses when determining a reserve of durability obtained by processing the data of the deterministic design of elements by the method of marginal states. A probability of a no-failure operation of separate structures and a building as whole is determined by the analysis of structural and technological connection of elements of these systems. Planning the measures of maintaining structures takes into account a variation of values of no-failure parameters when carrying out supervision measures. In the article the algorithm of determining the terms of conducting operational measures is offered taking into account a possible level of a no-failure operation. The result of optimizing the schedule of carrying out operational measures is a determination of an assured value of the probability of a no-failure operation of building structures during a given period of time at the set level of financing.

Keywords: building strictures, a no-failure operation, a schedule of operational measures, an admissible level of a no-failure operation.

Введение

В настоящее время значительная часть металлоконструкций представлена промышленными зданиями, срок службы которых составляет 30-40 лет, т.е. приближается к нормативному сроку их службы. Поскольку обновление существующих основных фондов идет очень медленными темпами, то в связи с этим очень важной задачей является поддержание эксплуатируемых конструкций в работоспособном состоянии. Работоспособное состояние конструкций согласно [3, 4] характеризует его надежность – «свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров,

характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования». Обеспечение надежности строительных конструкций возможно с использованием конструктивных методов [10] или организационных методов [6, 7, 11, 18]. Конструктивные методы позволяют в основном обеспечить проектную надежность конструкции. Необходимость поддержания в работоспособном состоянии эксплуатируемых конструкций вызывает необходимость использовать организационные методы обеспечения надежности (мероприятий по обслуживанию).

В настоящее время в нашей стране используется планово-предупредительная модель эксплуатации строительных конструкций, использование которой основано на нормативных документах, разработанных еще в 1960-е–1980-е годы. Данная система экономически оправдана в случае обеспечения эксплуатационного процесса большого количества объектов, поскольку позволяет получить достаточную надежность работы конструкций при оптимальных затратах на ее проведение. Недостатками такой системы является отсутствие учета индивидуальных особенностей эксплуатируемых объектов и соответствующего технологического процесса, что вызывает недостаточное финансирование или, наоборот, перерасход средств при проведении эксплуатационного процесса. В настоящее время наиболее распространенной является предупредительная модель эксплуатации [14, 15], в частности Reliability Centered Maintenance (RCM) – эксплуатация, ориентированная на надежность или, как ее еще называли в [11], «эксплуатация по приоритетам», достоинствами которой является учет индивидуальных особенностей объекта при планировании его эксплуатационного процесса, что, согласно [1, 11], позволяет достичь до 10-40% экономии средств, выделяемых на эксплуатацию.

В статье предлагается модель эксплуатационного процесса, основанная на использовании одного из показателей надежности – вероятности безотказной работы. Вероятность безотказной работы конструкций (или здания в целом) позволяет более точно охарактеризовать состояние строительных конструкций, чем при использовании современных методик оценки [5, 6]. Данный показатель применяется при оценке технического состояния и планировании мероприятий по обслуживанию путем прогнозирования износа как отдельных конструкций, так и здания в целом.

Оценка технического состояния конструкций

В настоящее время оценка стальных строительных конструкций эксплуатируемых промышленных зданий производится согласно рекомендаций [5]. Оценка производится путем при-

своения конструкции одного из пяти показателей. Критерием для определения принадлежности конструкции к одной из этих групп служат показатели напряженно-деформированного состояния элементов конструкции и дефектная ведомость, составленная по результатам проведения осмотра или обследования. Оценка технического состояния как отдельных конструкций, так и здания в целом происходит путем экспертной оценки по результатам проверочного расчета отдельных элементов. Предлагаемая методика позволяет выполнять оценку технического состояния конструкций и здания в целом расчетным методом с использованием как критерия вероятности безотказной работы. Для этого здание предлагается рассматривать с точки зрения теории надежности как системы взаимосвязанных отдельных элементов. В этом случае оценка вероятности безотказной работы производится на основании известных показателей отдельных элементов, а также знания взаимосвязи элементов друг с другом. Теория надежности предлагает рассматривать сложные системы как системы связанных последовательно и параллельно отдельных элементов. Однако, учитывая сложную взаимосвязь отдельных элементов конструкций в составе современного промышленного здания, предлагается рассматривать задачу в три этапа: определение вероятности безотказной работы отдельных элементов конструкций, определение вероятности безотказной работы отдельных конструкций и определение вероятности безотказной работы здания в целом.

Согласно теории надежности [16, 17, 20] безотказная работа элемента возможна в том случае, когда параметры, характеризующие работу этого элемента, не выходят из области допустимых значений. Поскольку в настоящее время как в процессе проектирования, так и в процессе эксплуатации основными параметрами, определяющими возможность конструкции выполнять свои функции являются параметры напряженно-деформированного состояния, в настоящей работе вероятность безотказной работы элемента предлагается оценивать по вероятности нахождения параметров напряженно-деформированного состояния элемента в заданной области безотказной работы. В этом случае используется смешанный подход при

решении поставленной задачи: параметры напряженно-деформированного состояния предлагается определять существующими детерминистическими методами (метод предельных состояний или, как его еще называют, метод частных коэффициентов надежности), а дальнейшее решение выполняется с использованием вероятностного подхода.

При использовании вероятностных методов необходимо располагать такими данными как законы распределения соответствующих величин, коэффициенты вариации этих величин. Рассматриваемые в данной методике как случайные величины параметры напряженно-деформированного состояния элемента для каждого объекта имеют свои собственные параметры, т.е. нельзя рекомендовать использовать какой-либо определенный закон распределения для данных величин. Таким образом, законы распределения данных параметров не могут быть однозначно выражены в аналитическом виде. Это обуславливает выбор метода определения вероятности безотказной работы элементов. При использовании данной методики предлагается определять вероятность безотказной работы элементов методом статистических испытаний (методом Монте-Карло [13]). В этом случае порядок определения вероятности безотказной работы элементов следующий:

- 1) генерируются вектора параметров напряженно-деформированного состояния (напряжений и деформаций);
- 2) определяется резерв прочности \bar{G} [2, 8, 9];
- 3) определяется вероятность безотказной работы элемента как количество элементов векторов, удовлетворяющих условию $\bar{G} > 0$, к общему количеству элементов векторов.

Особенностью предлагаемой методики является процесс генерации векторов рассматриваемых величин. В обычном случае генерация векторов рассматриваемых величин происходит по заданным законам распределения величин. В данном случае, как уже было отмечено выше, вектора напряжений и деформаций не имеют четкого, заранее определенного распределения. В этом случае предлагается поступать следующим образом:

- 1) поскольку параметры напряженно-деформированного состояния определяются с использованием метода предельных состояний,

то, например, рассматривая напряжения, можно записать, что:

$$\sigma = \frac{\bar{N}}{A} \pm \frac{\bar{M}}{W} \quad (1)$$

Т.е. вектор напряжений зависит от видов распределений внутренних усилий в элементе. Аналогично для каждого из видов внутренних усилий можно записать:

$$\bar{N} = f(F_i) \quad (2)$$

$$\bar{M} = f(F_i) \quad (3)$$

В этом случае каждое из внутренних усилий можно рассматривать как функцию от влияющих на ее итоговое значение нагрузок. Согласно теории вероятностей для i -той реализации вектора соответствующего вида внутренних усилий можно записать:

$$N_i = k_{N1} \cdot N_{1i} + k_{N2} \cdot N_{2i} + \dots + k_{Nn} \cdot N_{ni} \quad (4)$$

$$M_i = k_{M1} \cdot M_{1i} + k_{M2} \cdot M_{2i} + \dots + k_{Mn} \cdot M_{ni}, \quad (5)$$

где $N_{1i}, N_{2i}, N_{ni}, M_{1i}, M_{2i}, M_{ni}$ – величины продольной силы и изгибающего момента в элементе от различных видов нагрузок; $k_{N1}, k_{N2}, k_{Nn}, k_{M1}, k_{M2}, k_{Mn}$ – весовые коэффициенты соответствующих нагрузок в общем значении продольной силы и изгибающего момента.

Аналогично рассматривая влияние внутренних усилий на итоговое значение напряжения можно записать:

$$\sigma_i = k_N \cdot N_i + k_M \cdot M_i \quad (6)$$

Или с учетом формул (4) и (5)

$$\sigma_i = k_N \cdot \sum_{i=1}^n k_{Ni} \bar{F}_i + k_M \cdot \sum_{i=1}^n k_{Mi} \bar{F}_i. \quad (7)$$

где k_N, k_M – весовые коэффициенты напряжений от продольных сил и изгибающих моментов в общем значении напряжения; k_{N1}, k_{M1} – весовые коэффициенты соответствующих усилий от отдельных нагрузок в общем значении расчетного усилия; F_i – нагрузки, приложенные на элемент.

В этом случае в качестве входных параметров случайных величин выступают характеристики

приложенных на элемент нагрузок, которые приведены, в частности, в [12].

При определении вероятности безотказной работы отдельных конструкций они рассматриваются как многоэлементные системы с точки зрения теории надежности. Анализируя применяемые методы расчета различных конструкций, схемы соединения их элементов и схемы передачи усилий, определяется вероятность безотказной работы этих конструкций. Например:

а) для сквозных колонн одноэтажных промзданий с мостовыми кранами вероятность безотказной работы была принята равной минимальной из вероятностей безотказной работы надкрановой части и наружной и подкрановой ветви подкрановой части колонны;

б) для стропильных ферм, анализируя используемую для них методику расчета как статически определимых систем, вероятность безотказной работы принята равной минимальной из вероятностей безотказной работы всех ее элементов.

Вероятность безотказной работы всего здания предлагается определять, исходя из назначения здания. Для промышленных зданий основной функцией объектов служит поддержание технологического процесса, и, если рассматривать только основные несущие конструкции, то можно заметить, что проведение технологического процесса будет невозможно вследствие отказа любой из вышеназванных конструкций. В этом случае предлагается рассматривать возможность отказа здания по отказу любой его конструкции, а определение вероятности безотказной работы здания предлагается выполнять с учетом взаимного влияния конструкций. В этом случае вероятность безотказной работы здания принята равной минимальному из показателей безотказности всех конструкций, причем при определении вероятности безотказной работы отдельной конструкции учитывается влияние конструкций, служащих опорными для рассматриваемой конструкции. Рассматривая основные несущие конструкции промышленного здания с мостовыми кранами (колонны, стропильные фермы, подкрановые балки), можно записать:

а) для подкрановой балки

$$P_{\sigma} = P_{\sigma}' \cdot \min(P_{нк1}; P_{нк2}), \quad (8)$$

где P_{σ}' – вероятность безотказной работы подкрановой балки без учета влияния других конструкций; $P_{нк1}, P_{нк2}$ – вероятности безотказной работы соответственно подкрановых частей 1-й и 2-й колонны (опорных для конкретной балки);

б) для стропильной фермы

$$P_{\phi} = P_{\phi}' \cdot \min[(P_{нк1} \cdot P_{нк1}); (P_{нк2} \cdot P_{нк2})], \quad (9)$$

где P_{ϕ}' – вероятность безотказной работы стропильной фермы без учета влияния других конструкций; $P_{нк1}, P_{нк2}, P_{нк1}, P_{нк2}$ – вероятности безотказной работы соответственно надкрановых и подкрановых частей 1-й и 2-й колонны (опорных для конкретной фермы);

в) для надкрановой части колонны

$$P_{нк} = P_{нк}' \cdot P_{нк}, \quad (10)$$

где $P_{нк}'$ – вероятность безотказной работы надкрановой части колонны; $P_{нк}$ – вероятность безотказной работы подкрановой части колонны.

Для того чтобы оценивать состояние конструкций, необходимо знать граничные (допустимые) значения критериев, по которым производится оценка. В рамках данной методики для этого служит минимально допустимая вероятность безотказной работы. Основным принципом являться то, что минимально допустимая вероятность безотказной работы здания отвечает такому состоянию конструкций здания, при превышении которого здание либо переходит в аварийное состояние, либо технологический процесс прекращается. Для определения минимально допустимой вероятности безотказной работы конструкций используются уже разработанные схемы взаимосвязи элементов в конструкции. Простейший вариант определения минимально допустимой вероятности безотказной работы отдельного элемента состоит в следующем: принимая допущение, что напряжения и деформации во всех элементах связаны линейной зависимостью, определяются вектора напряжений и деформаций в элементах системы при условии,

что $V_{1max} = R$ и $V_{2max} = [f/I]$, где V_{1max} – максимальный элемент вектора напряжений, V_{2max} – максимальный элемент вектора деформаций. В этом случае элементы векторов V_1 и V_2 определяются путем умножения вектора V_{1n} (V_{2n}) на коэффициент V_{1max}/V_{1n} (V_{2max}/V_{2n}), где V_{1n} (V_{2n}) – вектор напряжений (деформаций) в элементах системы при проектных нагрузках. Минимально допустимое значение вероятности безотказной работы определяется на основании значений векторов V_1 и V_2 .

Планирование эксплуатационных мероприятий

Обеспечение необходимого уровня надежности эксплуатируемых конструкций достигается проведением мероприятий по обслуживанию, направленных на предупреждение возможных отказов, либо на восстановление работоспособности элементов системы вследствие отказов. Обычно стоимость мероприятий предупредительного характера оказывается меньше стоимости мероприятий по восстановлению элементов системы, особенно, если кроме прямых затрат, учитывать и косвенные затраты (остановка производства, возможная потеря рынков сбыта и т.д.). Именно поэтому модели обеспечения надежности направлены в первую очередь на предупреждение возникновения отказов. В этом случае очень важную роль играет прогнозирование износа (снижение надежности) рассматриваемого элемента или системы в целом.

В предлагаемой методике прогнозирование износа основано на учете изменения параметров несовершенств конструкций и, соответственно, на изменении значения вероятности безотказной работы элемента, конструкции или здания в целом в зависимости от значений параметров несовершенств. Мероприятия по обслуживанию в этом случае проводятся при снижении вероятности безотказной работы рассматриваемого объекта до допустимого уровня вероятности безотказной работы, который определяется собственником объекта с учетом требований нормативных документов. Основными эксплуатационными мероприятиями в настоящее время являются текущие, периодические осмотры, обследования, текущие и капиталь-

ные ремонты. Предлагаемая методика позволяет планировать проведение текущих осмотров и ремонтов, исходя из принципа обеспечения допустимого уровня безотказной работы конструкций или здания в целом. Разработку графика мероприятий предлагается проводить в следующем порядке:

1. Определение критериев расчета граничных сроков проведения осмотров.
2. Определение допустимых показателей надежности конструкции и здания.
3. Определение зависимости изменения надежности элементов, конструкций и здания в целом в процессе эксплуатации и прогнозирование величин показателей надежности на весь срок службы здания.
4. Определение граничных сроков проведения осмотров различных конструкций.
5. Корректировка графика по мере проведения мероприятий по надзору.

Зависимость изменения вероятности безотказной работы в процессе эксплуатации можно представить в следующем виде (рис. 1):

$$P_M = P - dP \cdot \frac{t_k - t_n}{t_0} \quad (11)$$

$$P_{min} = (P - \Delta P) - (dP - \Delta P) \cdot \frac{t_k - t_n}{t_0} \quad (12)$$

$$P_{max} = (P + \Delta P) - (dP + \Delta P) \cdot \frac{t_k - t_n}{t_0}, \quad (13)$$

где P_M – математическое ожидание величины показателя надежности в момент времени t_k ; P_{min} – максимально возможное значение величины показателя надежности в момент времени t_k ; P_{max} – минимально возможное значение величины показателя надежности в момент времени t_k ; dP – прирост величины за время t_0 .

Модель изменения вероятности безотказной работы во времени основано на гипотезе о том, что любое несовершенство, а значит и показатель технического состояния элемента (конструкции, здания) в любой момент времени не имеет конкретного значения, а его величина имеет какие-то отклонения, обусловленные вероятностным характером влияющих факторов. Исходя из принципа обеспечения максимально возможной надежности конструкции

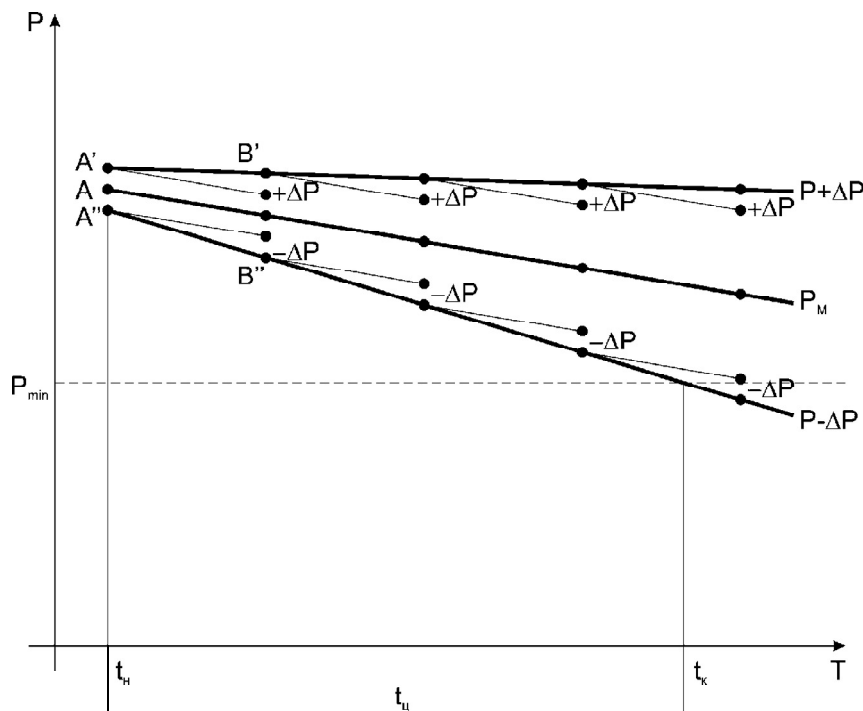


Рис. 1. Изменение вероятности безотказной работы конструкции (здания) в процессе эксплуатации.

(здания), в данной методике предлагается использовать минимально возможные показатели безотказной работы в конкретный момент времени [19].

Итоговым результатом разработки графика мероприятий является количество и сроки проведения текущих осмотров и ремонтов. Порядок определения количества и сроков проведения текущих осмотров и ремонтов можно представить на рис. 2.

На основании этого стоимость проведения мероприятий в течение какого-то конкретного срока проведения эксплуатационного процесса можно записать в виде:

$$C = n_1 \cdot C_{осм} + n_2 \cdot C_{рем}(n_2), \quad (14)$$

где n_1, n_2 – соответственно количество циклов осмотров и ремонтов за данный период; $C_{осм}$ и $C_{рем}$ – соответственно стоимости проведения осмотров и ремонтов.

Рассматривая порядок определения n_1 и n_2 можно заметить, что они зависят от допустимого уровня безотказной работы. Исходя из того, что одним из основных показателей эффективности проведения эксплуатационного процесса

в настоящее время является не превышение заданной нормы расходов при обеспечении удовлетворяющего требованиям технологического процесса состояния конструкции, предлагается оптимизировать график проведения эксплуатационных мероприятий для обеспечения следующей цели: «Определить такие значения n_1 и n_2 , при которых стоимость мероприятий не превышает выделенного количества средств».

Рассматривая порядок определения стоимости проведения мероприятий, целевую функцию процесса оптимизации можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} C &= n_1 \cdot C_{осм} + n_2 \cdot C_{рем} \leq [C] \\ n_1 &= f(P_{mp}) \\ n_2 &= f(P_{mp}) \\ P_{mp} &\in (P_{min}; P_{np}) \end{aligned} \quad (15)$$

Результат оптимизации данной функции можно сформулировать следующим образом: «Определение гарантированного показателя надежности строительных конструкций P_{mp} в

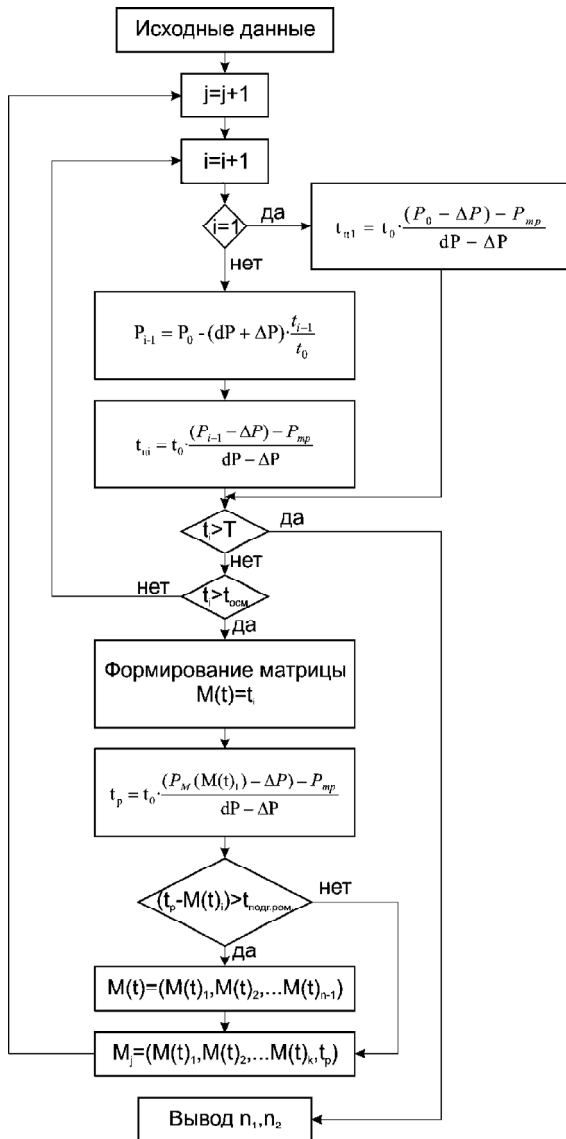


Рис. 2. Порядок определения количества и сроков проведения текущих осмотров и ремонтов.

течение заданного периода при уровне финансирования [С]. Данную процедуру предлагается использовать при назначении уровня финансирования эксплуатационного процесса.

Выводы

1. Основными методами обеспечения надежности эксплуатируемых конструкций являются организационные методы, заключающиеся в проведении мероприятий по обслуживанию конструкций.

2. Существующая на данный момент планово-предупредительная модель эксплуатации не позволяет учесть индивидуальные особенности конкретного объекта следствием чего является либо снижение необходимого уровня надежности объекта из-за недостаточного финансирования эксплуатационного процесса, либо завышение затрат на эксплуатацию вследствие неучета фактической повреждаемости конструкций объекта.
3. Предлагаемая модель эксплуатации, основанная на использовании вероятностного подхода при определении технического состояния конструкций и планировании их износа, позволяет:
 - более точно, в сравнении с существующими нормативными требованиями, классифицировать техническое состояние отдельных элементов, конструкций или здания в целом;
 - учесть особенности конкретного объекта (показатели повреждаемости, особенности технологического процесса), а также требования владельца при планировании графика проведения эксплуатационных мероприятий;
 - планировать финансирование эксплуатационного процесса с учетом фактического состояния объекта, результатом чего является обеспечение требуемого уровня надежности.

Литература

1. Building life cycle cost report. EnerMac Consultants Inc, 2003.
2. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 351 с.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
4. ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету».
5. ДБН 362–92. Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений. Государственные строительные нормы Украины. Издание официальное. Киев, 1993.
6. Нормативные документы по вопросам обследования, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений / Государственный комитет Украины по строительству и архитектуре, Государственный

- комитет Украины по надзору за охраной труда. – Киев, 2003. – 144 с.
7. Положення про безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд (з змінами, внесеними згідно з Наказом Держбуду № 184/140 (з0589-99) від 28.07.99).
 8. Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с. ил. – (Надежность и качество). – ISBN 5-274-01627-8.
 9. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
 10. Справочник по надежности. Том III / Пер. с англ. Ф.С. Соловейчика. Под ред. Б.Е. Бердичевского. – Изд-во «Мир», Москва. – 1970 г.
 11. Тарасевич Е.И. Управление эксплуатацией недвижимости. СПб.: Издательство «МКС», 2006.
 12. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций / Пер. с нем. О.О. Андреева. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с.: ил. – Перевод. изд.: Gerhard Spaethe. – Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. – ISBN 5-274-01208-6.
 13. Alex F Bielajew. Fundamentals of the Monte Carlo method for neutral and charged particle transport / The University of Michigan. – 1998.
 14. Bojidar S. Yanev. Bridge Management for New York City. Structural Engineering International 3/98, pp 211-215.
 15. George Hearn. Condition Data and Bridge Management System. Structural Engineering International 3/98, pp 221-225.
 16. Альфредо Паес. Теория надежности / Перевод с испанского языка статьи из журнала: Alfredo Paez. Teoria de la seguridad. Hormigon y acero, 1982, №142, p. 25-85.
 17. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании / Пер. с англ. Ю.Д. Сухова. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.: ил.
 18. Буркхард Т. Мониторинг строительных конструкций для обеспечения безопасности и сохранности зданий и сооружений. – <http://www.stroinauka.ru/>
 19. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 208 с., ил.
 20. Справочник по надежности. Том I / Пер. с англ. Ю.Г. Епишина и Б.А. Смиренина. Под ред. Б.Р. Левина. – Изд-во «Мир», Москва. – 1969 г.

Пчельников Сергій Борисович є асистентом кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій.

Пчельников Сергей Борисович является ассистентом кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций.

Pchel'nikov Sergiy Borysovych is an assistant professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics at the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests comprise an operational reliability of building metal structures.