

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ****М. О. Демченко, М. В. Філіппова, С. М. Матвієнко, А. Л. Іваницька**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: amd.8@meta.ua

Висвітлені дані щодо технічного аналізу стану металоконструкцій та керування їх якості в процесі експлуатації. Розглянута концептуальна модель побудови технологічного процесу аналізу напруженого стану об'єкту на основі існуючої методології IDEF0, що дає можливість створити функціональну модель технологічного процесу неруйнівного контролю, який дає змогу отримати повну картину про стан об'єкта та його структурні зміни. Створена методика з проведення аналізу технічного стану об'єкту, який знаходиться довгий час при діючих змінному чи умовно-постійному навантаженні, охоплює декілька видів технічного огляду об'єкту. Визначені вхідні, вихідні параметри для кожного етапу та критерії прийняття рішень на кожному з них. Розглянуто оцінку технічного стану конструкцій, що свідчить про можливість подальшої експлуатації об'єкта. Основні типи документів, що є основою для проведення технічного огляду, та експертний висновок за результатами проведення технічної діагностики повинні містити повну інформацію про об'єкт контролю, що розглянутий в роботі.

Ключові слова: напружено-деформований стан, металоконструкції, IDEF0.**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
МЕТАЛОКОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ****М. А. Демченко, М. В. Филиппова, С. Н. Матвиенко, А. Л. Иваницкая**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: amd.8@meta.ua

Освещены данные по техническому анализу состояния металлоконструкций и управлением их качества в процессе эксплуатации. Рассмотрена концептуальная модель построения технологического процесса анализа напряженного состояния объекта на основе существующей методологии IDEF0, что дает возможность создать функциональную модель технологического процесса неразрушающего контроля, позволяющий получить полную картину о состоянии объекта и его структурные изменения. Создана методика по проведению анализа технического состояния объекта, который находится долгое время при действующих переменной или условно-постоянной нагрузках, охватывает несколько видов технического осмотра объекта. Определены входные, выходные параметры для каждого этапа и критерии принятия решений на каждом из них. Рассмотрена оценка технического состояния конструкций, что свидетельствует о возможности дальнейшей эксплуатации объекта. Основные типы документов, являющихся основой для проведения технического осмотра, и экспертное заключение по результатам проведения технической диагностики должны содержать полную информацию об объекте контроля, рассмотренного в работе.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, металлоконструкции, IDEF0.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Ризик виникнення в матеріалі металоконструкцій (МК) епіцентрів руйнування та деформації є основною проблемою вже існуючих споруд, а на сам перед тих, що знаходяться в експлуатації. Вплив як динамічних, так і статичних навантажень, призводить до передчасного зниження міцносних характеристик металу, що може бути посилено кліматичними умовами. Виявлення таких зон можна вважати основним завданням при контролі металоконструкцій.

Існує декілька ситуацій, в яких проводять контроль напружено-деформованого стану (НДС): поперше об'єкти, будівництво яких за певних причин не було завершено, починають добудовувати, тобто існує ризик значної втрати тих технічних характеристик, які були закладені проектною групою, виходячи з великого терміну простою споруди; по-друге виникнення помилок робочої групи будівельників при спорудженні будівлі, в силу їх низької кваліфікації; по-третє в будівлях, що експлуатуються довгий час на повну потужність чи частково, або навантаження прямує до критичної позначки, спостерігається виникнення критичних зон деформації та вну-

трішніх пошкоджень. Повна чи часткова експлуатація будівлі не дає можливості використання в якості методу контролю руйнівних методів, чи тих, що можуть деформувати конструкцію [1]. Тому існує необхідність комплексного аналізу споруди, з метою виявлення усіх місць НДС.

Технічний стан споруд характеризується технічним станом несучих МК, що визначається їх фактичним НДС з урахуванням конструктивних і технічних концентраторів напруження, структурною неоднорідністю металу та зварних з'єднань і залишкових напружень, «усталісних» дефектів і корозійних пошкоджень, зон пластичних деформацій, а також структурних змін металу у зв'язку з його старінням, деформаційним і технічним впливом. Так, повірочний розрахунок не дає повної картини про технічний стан МК, що експлуатуються. Це пов'язано насамперед зі спрощеною схемою повірочних розрахунків, з не урахуванням усіх вище перелічених чинників і фактичних значень навантажень, що діють в небезпечних локальних зонах концентрації напружень. У таких зонах посилюються процеси

«усталісних» і корозійної активності, що призводить до ще більших руйнувань [2–4].

Мета роботи – моделювання процесу контролю напружено-деформованого стану металоконструкцій при експлуатації.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Аналіз існуючих наукових розробок показав, що на даний час не існує досить повних методів оцінки технічного стану споруд під час експлуатації з метою виявлення небезпечних зон концентрації напружень. Одним з рішень цієї задачі є розробка комплексної методики оцінки технічного стану несучих МК, яка б урахувала їх структурний стан, хімічний склад металу та фактичні величини діючих напружень, визначення у впливах небезпечних зон концентраторів напруження на основі взаємозв'язку між механічними та структурними параметрами.

Підвищення достовірності результатів оцінки НДС МК промислових споруд досягається шляхом комплексного використання різного роду методів як пасивних, так і активних, що дозволяють проводити як вибірку, так і суцільну діагностику МК. Вибіркова діагностика проводиться на основі рекомендацій до проведення контролю, суцільна – спрямована на аналіз усього комплексу елементів споруди. Використання даної технології не потребує попередньої підготовки поверхонь.

Інструментом аналізу є методологія IDEF0, яка виступає як базовий засіб аналізу та синтезу виробничо-технічних процесів. Основним інструментом методології IDEF0 [5] є графічна мова опису систем, що модулюється. Дана методологія дозволяє створювати функціональні моделі технологічного процесу технічної діагностики, які відображають структуру та функції кожного з її етапів, а також потоки інформації та матеріальних об'єктів, що пов'язують ці функції [6]. Основна структура діаграми має вигляд представлений на рис. 1.

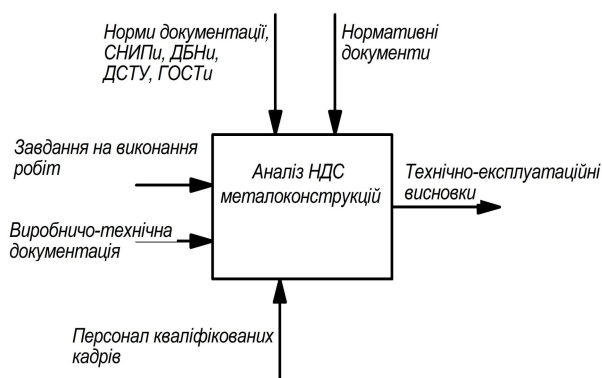


Рисунок 1 – Контекстна діаграма проектування технологічного аналізу напружено-деформованого стану металоконструкцій

Вхідними даними технологічного процесу аналізу НДС МК є «Завдання на виконання робіт» та «Виробничо-технічна документація». Всю роботу виконують «Кваліфіковані кадри», до яких входять

інженер-конструктор, спеціалісти з неруйнівного контролю, а саме, ті люди, що задіяні як в пасивному, так і активному контакті з об'єктом контролю. Їх робота проводиться під пильним наглядом власників споруди та уповноваженим від підприємства. Керуючись «Нормативним документами» та «Методикам проведення робіт» спеціалісти складають «Технічно-експлуатаційні вказівки», щодо подальших дій відносно об'єкту, тобто «Експертний висновок».

Завдання на виконання робіт повинно складатися з пояснювальної записки та креслення, що узгоджується керівником відповідної служби підприємства, в введенні яких знаходиться виконання робіт. Пояснювальна записка до завдання має містити:

1. Найменування робіт, що виконуються, а саме, вказується об'єкт, аналіз якого проводиться.

2. Відомості про порушення чи ускладнення технологічного процесу, що створюються станом несучих металоконструкцій. Відомості про загальний стан конструкцій, їх моральний та фізичний «зношення», та часу знаходження в експлуатації з результатами спостереження за конструкціями, з результатами періодичних геодезичних зйомок і т.д. Відомості про характер майбутнього технічного переозброєння підприємства, в тому числі про зміну навантажень і впливів на конструкції.

3. Техніко-економічне обґрунтування необхідності проведення обстеження та оцінки технічного стану металоконструкцій.

4. Відомості про заміну конструкцій в процесі експлуатації, їх ремонті або посиленні із зазначенням креслень, за якими виконані ці роботи, із зазначенням часу виконання робіт.

5. Технологічні навантаження на обстежувані конструкції.

6. Відомості про передбачувані зміни технологічних навантажень.

7. Відомості про наявність підйомно-транспортного устаткування, що передає рухомі навантаження на обстежувані конструкції.

8. Відомості про передбачувані зміни характеристик або розташування підйомно-транспортного обладнання.

9. Район вітрового і снігового навантаження, розрахункова зимова температура, ступінь сейсмічності району та інші зовнішні умови, які мають враховуватися при виконанні робіт.

10. Експлуатаційний режим будівлі із зазначенням температурно-вологісних характеристик атмосфери в робочій зоні, ступеня агресивності середовища, зон надлишкових тепловиділень із зазначенням максимальних значень температури, категорії пожежної безпеки і вибухонебезпечності.

11. Відомості про передбачувані зміни експлуатаційного режиму будівлі.

12. Характеристики металу, використаного при виготовленні обстежуваних конструкцій.

13. Загальна площа, будівельний об'єм, балансова вартість будівлі, витрати на капітальний ремонт і реконструкцію будівлі за час його експлуатації.

Найважливішим вичерпним джерелом даних про об'єкт є пакет креслень, що є обов'язковим при проведенні аналізу НДС об'єктів.

До завдання прикладається шість креслень:

- архітектурно-будівельні креслення марок АР і КМ, включаючи заголовні листи з переліком креслень проекту та основними даними по проекту: плани, розрізи, креслення всіх конструктивних елементів, навантаження від яких передається на обстежувані конструкції;

- креслення металоконструкцій марки КМД – повний комплект;

- креслення металоконструкцій марки КМ – повний комплект;

- креслення на заміни металоконструкцій в процесі експлуатації, їх ремонт і посилення;

- креслення зі схемами існуючих і прогнозованих технологічних навантажень;

- схеми розміщення існуючого і прогнозованого підйомно-транспортного обладнання з його габаритами, точками опори на конструкції і ваговими характеристиками.

Декомпозиція діаграми IDEF0 аналізу НДС МК (рис. 2) дозволяє зрозуміти, які об'єкти служать вихідними даними для процесів, які результати виробляються кожною роботою, що є керуючим чинником і які ресурси для цього необхідні.

На першому етапі поводитьься аналіз технологічної документації об'єкту контролю за робочого креслення виробу та виробничо-технічної документації на основі нормативних документів, СНІПів, ДБНів та ГОСТів. На основі отриманої службової записки проводиться візуально-оптичний та вимірювальний контроль за методикою проведення технічного огляду безпосередньо самого існуючого об'єкту. Отримані на даному етапі письмові рекомендації говорять про необхідність проведення ультразвукового контролю (УЗК) металоконструкцій споруди, що експлуатується. УЗК металоконструкцій проводиться за методикою проведення неруйнівного контролю, результатом якого є протокол контролю, що містить показники технічних характеристик матеріалу металоконструкцій. Наступним масивним етапом є статистична обробка даних. На основі отриманих статистичних даних будуються діаграми концентрації напружень, за якою можна виявити зони концентрації напружень у матеріалі. Протокол досліджень, що містить інформацію про розподілення навантажень у матеріалі металоконструкцій, та службова записка після аналізу технологічної документації об'єкта контролю являються основою для порівняння НДС в різних його точках.

По виконанню статистичної обробки інформації по проведенню УЗК складається акт виконаних ро-

біт, що слугує приводом до винесення експертного висновку в результаті прийняття рішень про подальші дії щодо металоконструкцій, які діагностуються. Окремо розробляється методика проведення обробки статистичних даних, яка є основним керуючим елементом під час виявлення зон концентрації напружень.

На етапі прийняття рішень відбувається багато критеріальний аналіз результатів попередніх етапів перевірки. Оцінюється технічний стан конструкцій, який може приймати різне значення:

- справний – коли воно повністю відповідає вимогам стандартів, норм та проектної документації;

- працездатний – коли конструкція має лише допустимі відхилення дефекти та пошкодження;

- непрацездатний або частково працездатний – коли відновлення працездатності конструкції можливо і доцільно шляхом усунення неприпустимих відхилень, дефектів і пошкоджень або посилення конструкції;

- неремонтоздатний, коли відновлення працездатності конструкції чи технічно неможливо, або економічно недоцільно і потрібна заміна цих конструкцій або їх частин.

Експертний висновок, що виноситься за результатами оцінки технічного стану повинен містити:

- оцінку якості проектних матеріалів по об'єкту: відсутність помилок у вихідних передумовах, розрахунку і прийнятих конструктивних рішеннях, відповідність їх ДСТУ і СНиПам, що діють на час складання проекту, а також сучасним нормам;

- результати огляду конструкцій з оцінкою їх фактичного стану, якості їх виготовлення і монтажу з додатком відомості дефектів;

- оцінку якості металу та його відповідність вимогам чинних ДСТУ та СНиП;

- результати визначення фактичних і прогнозованих навантажень, впливів і умов експлуатації;

- результати перевірконого розрахунку конструкцій і перевірки міцності, жорсткості і стійкості елементів, з урахуванням виявлених відхилень, дефектів та пошкоджень;

- результати виявлення та перелік неприпустимих відхилень дефектів і пошкоджень;

- обґрунтування необхідності проведення випробувань і звіт про їх проведення;

- класифікація виду технічного стану конструкцій;

- рекомендації з конструктивним рішенням відновлення посилення, реконструкції, часткової або повної заміни конструкцій;

- указівки про можливість експлуатації обстежених конструкцій до початку робіт з їх відновлення, посилення або реконструкції з обмеженнями або без обмежень режиму експлуатації; про необхідність організації нагляду за конструкціями, а також тимчасового підкріплення їх для запобігання обвалення.

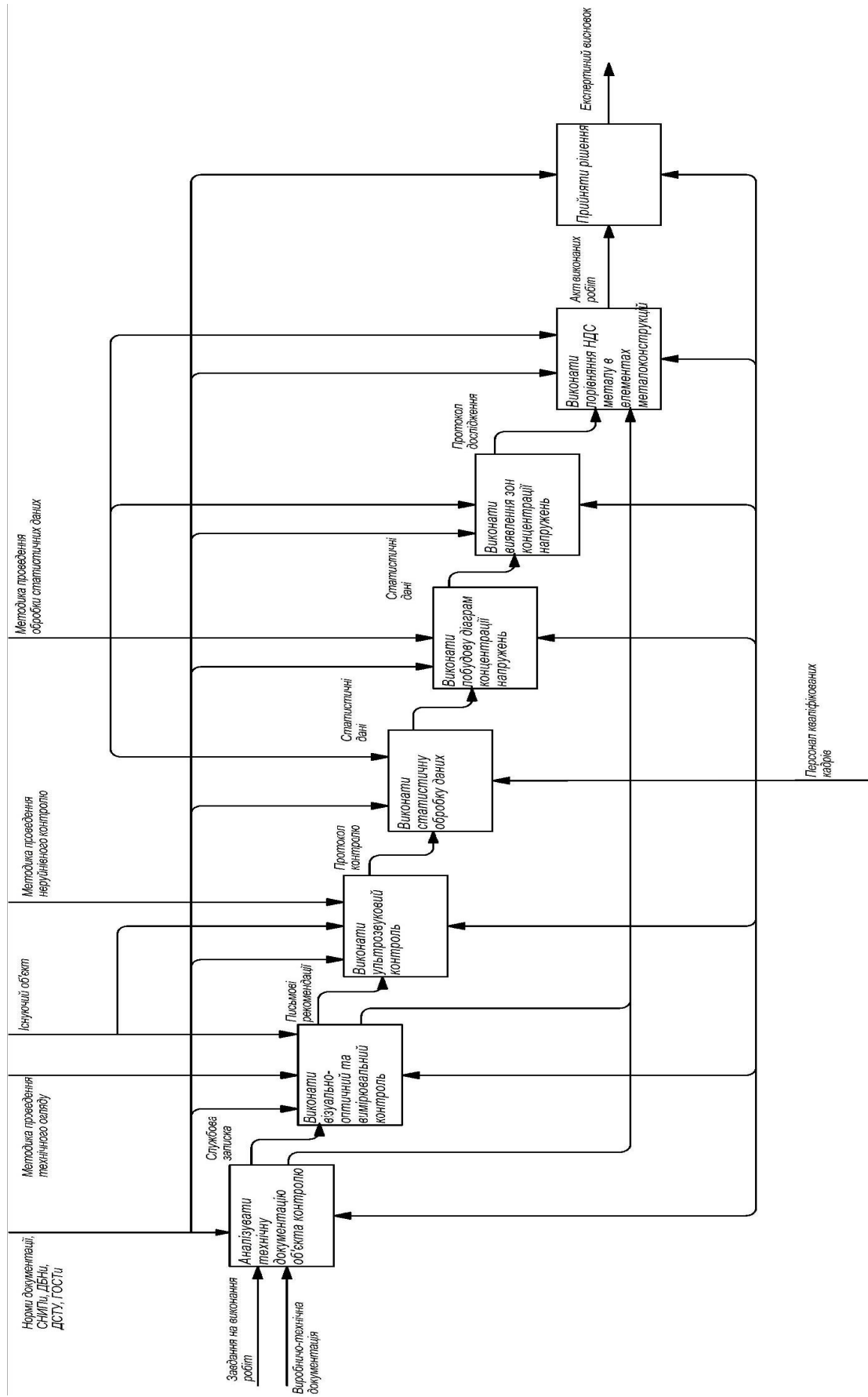


Рисунок 2 – Концептуальна модель аналізу напружено-деформованого стану металоконструкцій при експлуатації з використанням ультразвукового методу контролю

ВИСНОВКИ. Технологічний процес діагностики металоконструкцій повинен містити всі необхідні етапи технічного огляду, з метою визначення місць концентрації напружень у матеріалі конструкції. Процес встановлення зон напружено-деформованого стану не повинен бути обмежений лише одним методом огляду. Запропоновані включення в хід технічного огляду декілька етапів, які передували б оперативній діагностиці, що є вивченням технічної документації такої, як робочі креслення, робоча документація, тощо. Технологічний процес технічного стану металоконструкцій з метою виявлення зон напружено-деформованого стану має такий вигляд:

- аналіз технічної документації (експлуатаційна, монтажна, ремонтна, розрахунок на міцність);
- перехід до функціональної діагностики: візуальний огляд, вимірювання;
- аналіз механічних пошкоджень та виявлення визначених параметрів технічного стану;
- прийняття рішення про проведення подальшого технічного огляду;
- у разі необхідності проведення технічної діагностики напружено-деформованого стану неруйнівними методами (акустичний контроль, метод акустичної емісії, метод акустопружності, магнітний метод) [7, 8];
- уточнення зон напруження в металі за допомогою статистичної обробки технічних даних;
- визначення рівня ризику, що несе виявлена зона, та прийняття рішень про подальші дії, спрямовані на підвищення експлуатаційних характеристик конструкції.

Аналіз технічної документації проводиться спеціалістом широкого профілю, що спеціалізується на проектуванні метало конструкцій та має досвід з оцінки та виявлення зон напруження існуючих будівель. Виходячи з його рішення будуть обрані ті ділянки металоконструкцій, що будуть підлягати функціональній діагностиці. Як оперативну діагностику доцільно обрати неруйнівні методи, що будуть цілком виправданими. Основна задача вибраного методу оцінити різницю напружень у матеріалі без його руйнування та деформації, щоб не змінити його характеристики в бік погіршення.

Представлена концептуальна модель контролю металоконструкцій спрямована як на аналіз технічного стану всієї споруди, так і на виявлення в її конструкції окремих місць напружень, що можуть бути, як залишковими так і сформованими при експлуатації об'єкта. Основна задача контролю, виявити наявність таких зон та оцінити ступінь їхньої небезпеки. Використання в методі декількох видів ко-

нтролю спрямоване на пошук небезпечних зон методом поступового наближення, з метою недопущення втрати цих зон для діагностики [8–10].

Використання даної методики не обмежується будівельною галуззю, що робить її майже універсальним інструментом для технічної діагностики. Розробка даної методики зумовлена необхідністю пошуку рішень у виявленні низьких технічних характеристик металу та металоконструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Прилуцкий М.А. Разработка методики и оборудования определения напряженно-деформированного состояния линейной части газопроводов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.11 / Прилуцкий Максим Андреевич; Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана. – М., 2009. – 103 с.
2. Махінько А.В. Надійність елементів металоконструкцій під дією випадкових змінних навантажень: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 24 с.
3. Пичугін С.Ф., Махінько А.В. Оцінка надійності металоконструкцій при дії випадкових навантажень // Збір. доповідей VIII Української наук.-техн. конф. Част. 2. – К.: Сталь, 2004. – С. 175–185.
4. Кикин А.И., Васильев А.А., Кошутин Б.Н. и др. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий. – М., 1984. – 302 с.
5. Методология функционального моделирования IDEF0: Руководящий документ (РД IDEF0–2000): [Действующий с 2000 г.]. – М.: Госстандарт России, 2000. – 75 с.
6. Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 48 с.
7. Диагностика и контроль качества строительных конструкций вибрационными методами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Калашников Михаил Олегович; Гос. ун-т – учебно-научно-производственный комплекс. – Орел, 2011. – 23 с.
8. Алешин Н.П. Возможности методов неразрушающего контроля при оценке напряженно-деформированного состояния нагруженных металлоконструкций // Сварка и диагностика. – 2011. – № 6. – С. 44–47.
9. Проблема регулювання напружено-деформованого стану плоских стрижневих металевих конструкцій / В.О. Пермяков, М.В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: збірник наукових праць. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – С. 154–157.
10. Никитина Н.Е., Акустопружність. Опыт практического применения. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2005. – 208 с.

SIMULATION OF THE STEELWORK STRESS-STRAIN STATE IN-SERVICE INSPECTION

M. Demchenko, M. Filippova, S. Matviienko, A. Ivanytska

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

prosp. Peremohy, 37, 03056, Kyiv, Ukraine. E-mail: amd.8@meta.ua

This work addresses data related to technical analysis of state of the steelwork and its quality management while in service. This work describes a conceptual model of development of a technological process of stress analysis based on the existing IDEF0 methodology. This permits creation of a functional model of a technological process of nondestructive testing, allowing full perception of state of the inspected object as well as of its structural changes. Developed methodology of technical state analysis of an object that undergoes longterm variable or conventional constant stress englobes several types of technical inspection. The input and output parameters were defined for every stage as well as the decision criteria at each stage. This work addresses the inspection of technical state of steelwork that allows its further exploitation. Main types of the documents that serve as basis for the inspection and the expert opinion based on the technical diagnosis must contain complete object-related information described in this work.

Key words: stressed-deformed state, steelwork, IDEF0.

REFERENCES

1. Prilutskiy, M.L. (2009), "Development of methods and equipment for determining the stress-strain state of the linear part of gas", Thesis abstract for Cand. Sc. (Engineering), spec. 05.02.11, Bauman Moscow State University, Moscow, Russia.
2. Makhin'ko, A.V. (2006), "Reliability of metal elements under the influence of random variable loads", Thesis abstract for Cand. Sc. (Engineering), spec. 05.23.01, PoltNTU, Poltava, Ukraine.
3. Pichugin, S.F., Makhin'ko, A.V. (2004), "Evaluation of reliability of metal under the action of random loads", *Proceedings of the VIII Ukrainian scientific-technical. conf.*, Part 2, Stal, Kyiv, Ukraine, pp. 175–185.
4. Kikin, A.I., Vasil'ev, A.A., Koshutin, B.N. *et al.* (1984), *Povyshenie dolgovechnosti metallicheskih konstruksii promyshlennykh zdaniy* [Increased durability of metal structures of industrial buildings], Stroiizdat, Moscow, Russia.
5. (2000), "Methodology for functional simulation IDEF0", Guidance Document (RD IDEF0), Moscow, Russia.
6. Vendrov, A.M. (1998), *CASE-tekhologii. Sovremennye metody i sredstva proektirovaniya informatsionnykh sistem* [CASE-technology. Modern methods and tools for designing information systems], Finansy i statistika, Moscow, Russia.
7. Kalashnikov, M.O. (2011), "Quality control and diagnostics of building structures vibration methods", Thesis abstract for Cand. Sc. (Engineering), spec. 05.23.01, State University–Education–Science–Production Complex, Orel, Russia.
8. Aleshin, N.P. (2011), "Opportunities NDT methods in the evaluation of the stress-strain state of metal loaded", *Welding and Diagnostics*, no. 6, pp. 44–47.
9. Permyako, V.O. (2004), "The problem of the stress-strain state of the flat rod of metal structures", *Teoriya i praktika budivnitstva. Visnik NU "Lvivs'ka politekhnik"*, pp. 154–157.
10. Nikitina, N.E. (2005), *Akoustouprugost. Opyt prakticheskogo primeneniya* [Acoustoelasticity. practical experience], TALAM, N.Novgorod, Russia.

Стаття надійшла 30.07.2014.