

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Колесніченко Сергій Володимирович



УДК 624.074.04

**ТЕХНОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬНИХ
СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса - 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Донбаській національній академії будівництва і архітектури
Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант

Доктор технічних наук, професор
ШИМАНОВСЬКИЙ Олександр Віталійович,
Генеральний директор ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського»,
член-кореспондент Національної Академії наук України,
заслужений діяч науки і техніки України

Офіційні опоненти

доктор технічних наук, професор
БІЛИК Сергій Іванович,
завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій,
Київський національний університет будівництва і архітектури

доктор технічних наук, професор
КУЩЕНКО Володимир Миколайович,
професор кафедри будівельних конструкцій та мостів Інституту будівництва та інженерії довкілля Національного університету «Львівська політехніка»

доктор технічних наук, професор
СЕМКО Олександр Володимирович,
завідувач кафедри архітектури та міського будівництва
Національного Університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Захист відбудеться «25» березня 2020 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

Автореферат розісланий «21» лютого 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради, д.т.н., доц.



Кровяков С. О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Значна кількість будівельних сталевих конструкцій експлуатується під впливом корозійного середовища та динамічних навантажень. Для більшості виробничих будівель та споруд нормативний термін експлуатації становить 40-60 років, для цивільних будівель – 100 років. Реальний термін експлуатації сталевих конструкцій виробничих будівель, особливо для умов агресивного середовища складає 20-25 років, а реальний ресурс цивільних будівель складає 40-50 років, але у своїй переважній більшості, у зв'язку з великою вартістю та складністю проектування, виготовлення та монтажу, вказані об'єкти експлуатуються значно більше. Враховуючи те, що більшість промислових будівель та споруд було збудовано в період з 1950 по 1985 роки, їх проектний ресурс або вже вичерпано, або близький до вичерпання.

Розвиток методів розрахунку будівельних сталевих конструкцій за граничними станами передбачає формування структури показників безпеки з урахуванням функціональних вимог і технічних характеристик будівельних об'єктів під час експлуатації, реконструкції, технічному переоснащенні на основі оцінювання ризиків за даними аналізу статистичної інформації, отриманої під час обстеження, обслуговування з урахуванням можливих обмежень.

Обстеження стає основною процедурою, під час виконання якої фахівці отримують дані для подальшого визначення технічного стану конструкцій будівель і споруд. Враховуючи те, що під час обстеження практично завжди виконується не для всього загального об'єму об'єкту, існує імовірність ризиків настання непередбачених відмов та зменшення конструктивної безпеки. Зростання якості робіт потребує використання традиційних та впровадження нових методів неруйнівного контролю. Активний тепловізійний контроль може дозволити значно покращити якість визначення існуючих недосконалостей, маючи при цьому мінімальні потреби і витрати для роботи.

Обов'язково мають бути визначені основні чинники технологічної безпеки – ті, на які існує можливість впливати під час експлуатації, змінюючи ті параметри технічного стану, що можуть призвести до аварійної ситуації. Необхідно окремо виділити ті показники, що безпосередньо впливають на надійність конструкцій і забезпечують її конструктивну безпеку і ті, які мають організаційно-технічні чинники і певним образом носять суб'єктивний характер.

Таким чином, актуальною **науково-технічною проблемою** є удосконалення методів розрахунків показників безпеки експлуатації сталевих будівельних конструкцій для оцінки технічного стану з урахуванням можливих ризиків у межах визначеного залишкового ресурсу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає пріоритетним завданням державної науково-технічної політики щодо ресурсозберігання та забезпечення безпеки конструкцій будівель і споруд відповідно до вимог Розпорядження КМУ № 351 від 11 липня 2003 р. «Про схвалення Концепції Державної програми забезпечення технологічної

безпеки в основних галузях економіки», від 11.06.2003; Державної науково-технічної програми «Ресурс», затвердженої Постановою КМУ № 1331 від 08 жовтня 2004; цільової комплексної програми НАН України «Проблеми ресурсу та безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». виконанні наукової розробки, що виконувалась у Донбаській національній академії будівництва і архітектури за кошти державного бюджету: «Визначення ресурсу будівельних сталевих конструкцій в умовах довготривалої експлуатації для забезпечення технологічної безпеки підприємства» (2016-2017 роки, номер державної реєстрації 0116U000566).

Мета роботи – розробка теоретичних підходів до обґрунтування показників технологічної безпеки сталевих конструкцій, що знаходяться в умовах довготривалої експлуатації при визначенні технічного стану та розрахунку залишкового ресурсу на основі нормованих індексів надійності із оцінюванням ризиків подальшої експлуатації конструкцій.

Для досягнення мети роботи сформульовано **основні задачі дослідження**:

- узагальнення та систематизація груп показників для розрахунку технологічної безпеки сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються;
- розробка принципів призначення технічного стану сталевих конструкцій на основі нормованого індексу надійності;
- розробка принципів визначення типів ресурсів життєвого циклу сталевих конструкцій та методів їхнього розрахунку з урахуванням даних обстежень і створення на базі цього методики імовірнісного розрахунку конструктивної безпеки із призначенням залишковим ресурсом;
- удосконалення існуючих видів робіт під час обстеження, застосування нових інструментальних методів для підвищення якості обстеження, таких як метод активного тепловізійного неруйнівного контролю сталевих конструкцій, для визначення дефектів і пошкоджень у вигляді тріщини, корозії та недосконалостей зварного шва;
- розробка показників організаційно-технічної безпеки як складової частини технологічної безпеки, розрахунок рівнів організаційно-технічної безпеки для визначення технічного стану конструкцій з урахуванням ризиків можливої зміни показників;
- розробка принципів розрахунку ризику експлуатації сталевих конструкцій із можливими невизначеними під час обстеження недосконалостями в межах залишкового ресурсу;
- розробка груп показників діагностичних та ресурсних параметрів для удосконалення нормованої таблиці типових пошкоджень сталевих конструкцій, в тому числі для тих, що знаходяться під дією динамічних навантажень;
- розробка вимог до експертів з технічного обстеження будівель і споруд, наданням рекомендацій для програм професійного навчання;
- розробка основних принципів стандарту підприємства для упорядкування роботи служб технічної експлуатації для підвищення загального рівня організаційно-технічної безпеки;

- реалізація основних принципів створення електронної бази даних для накопичення та аналізу інформації по дефектах і пошкодженнях конструкцій з подальшою їх оцінкою для безпечної експлуатації конструкцій будівель і споруд.

Об'єкт дослідження – будівельні сталеві конструкції промислових (цивільних) об'єктів, що знаходяться в умовах довготривалої експлуатації за межами свого проектного ресурсу.

Предмет дослідження – науково-методичні підходи до визначення ресурсу будівельних сталевих конструкцій в умовах довготривалої експлуатації.

Методи дослідження: методи технічної діагностики, інформаційне та експериментальне моделювання параметрів технічного стану сталевих конструкцій, методи математичної статистики, методи теорії надійності, механіки деформованого твердого тіла і механіки руйнування, системний аналіз, розрахункові положення методики граничних станів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблена процедура розрахунку технологічної безпеки як узагальненої оцінки можливості експлуатації будівельних сталевих конструкцій. Технологічна безпека розраховується за індексом надійності, як показника конструктивної безпеки та індексом організаційно-технічної безпеки.

2. Набули подальшого розвитку принципи призначення технічного стану сталевих конструкцій на основі нормованого індексу надійності. Запропоновано три технічних стани в залежності від класу наслідків та можливих факторів аварії: задовільний, стан, що потребує ремонту та аварійний. Для конструкцій індекс надійності визначається в залежності від його значення для кожного з елементів та схеми з'єднань елементів у конструкції.

3. Удосконалені математичні моделі розрахункової оцінки залишкового ресурсу сталевих конструкцій в імовірнісній постановці з урахуванням історії експлуатації об'єкта. Для різних типів систем (невідновлювальних, відновлювальних та частково відновлювальних), залишковий ресурс визначається за допомогою апроксимуючої залежності (кривої), що побудована на підставі параметрів технічного стану, визначених за даними обстежень.

4. Вперше розроблені принципи використання та прийоми застосування активного теплового неруйнівного контролю для підвищення якості робіт з обстеження. Доказана принципова можливість використання теплового неруйнівного контролю для знаходження недосконалостей сталевих конструкцій у вигляді тріщини та недоліків зварних швів. Удосконалено перелік та склад робіт з обстеження для можливостей подальшого розрахунку індексу надійності, залишкового ресурсу та термінів подальшого обстеження.

5. Вперше запропоновано номенклатуру показників організаційно - технічної безпеки як складової частини технологічної безпеки. У ймовірнісному вигляді визначений ризик впливу організаційно-технічної безпеки на загальний рівень технологічної безпеки.

6. Удосконалена математична модель якісного та кількісного розрахунку ризику експлуатації конструкцій у межах залишкового ресурсу з урахуванням невизначених під час обстеження дефектів і пошкоджень. Враховано декілька варіантів ситуацій в залежності від наявної історії обстежень та імовірності існування недосконалостей.

7. Набула подальшого розвитку номенклатура дефектів та пошкоджень сталевих конструкцій шляхом зазначення параметрів для кожної з категорій, їх розподілення на діагностичні та ресурсні, в тому числі для конструкцій, що експлуатуються під впливом динамічних навантажень. Додані нові типи пошкоджень для стрижневих систем з широкополичних двотаврів та гнutoзварених замкнених профілів.

8. Подальшого розвитку дістали заходи щодо удосконалення безпечної експлуатації будівельних конструкцій: запропоновано структуру та методологію стандарту технологічної безпеки підприємства; удосконалено алгоритм електронної бази даних конструкцій для подальшого автоматизованого обліку; удосконалені та обґрунтовані вимоги, склад, перелік тем, компетенцій та знань, якими має володіти експерт з обстеження.

Рішення задачі оцінки технічного стану головним чином визначається показниками залишкового ресурсу з урахуванням можливого припустимого ризику, що розраховується за даними кількісного і якісного складу типів дефектів та пошкоджень на підставі діагностичних та ресурсних параметрів.

Для запобігання аварійним ситуаціям, слід впроваджувати і підтримувати в робочому стані систему менеджменту технологічної безпеки, розроблену на рівні технічних стандартів підприємства з метою постійного покращення результативності і ефективності діяльності служб технічного нагляду і контролю. Необхідність формування принципів технічного регулювання безпеки з урахуванням вимог європейських і міжнародних стандартів визначила методологічну спрямованість і побудову структури основних розділів дисертаційної роботи.

Практичне значення отриманих результатів підтверджуються впровадженням результатів роботи здійснено при виконанні наукової розробки, що виконувалась у Донбаській національній академії будівництва і архітектури за кошти державного бюджету: «Визначення ресурсу будівельних сталевих конструкцій в умовах довготривалої експлуатації для забезпечення технологічної безпеки підприємства» (2016-2017 роки, номер державної реєстрації 0116U000566); етапів державної програми «Ресурс»; науково-технічного супроводу будівельних об'єктів; розроблення нормативних документів у ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»: ДСТУ Б В.2.6-74:2008. «Конструкції будинків і споруд. Ферми сталеві кроквяні і гнutoзварених профілів прямокутного перерізу. Технічні умови»; ДСТУ Б В.2.6 - 193:2013 «Захист металевих конструкцій від корозії»; ДБН В.2.6-163:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування». В цих роботах реалізовані результати теоретичних і експериментальних розробок автора.

Результати роботи було використано під час виконання господарчих договірних робіт у науково-технічних звітах і проектно-кошторисній документації будівельних об'єктів із задачею реалізації організаційно-технічних засобів конструктивної технологічної безпеки, що здійснена на підприємствах:

- Публічне акціонерне товариство «Донецьккокс»;
- Публічне акціонерне товариство «Макіївкокс»;
- Закрите акціонерне товариство «Донецьксталь металургійний завод»;
- Публічне акціонерне товариство «Донбасенерго» - Слов'янська ТЕС;
- Публічне акціонерне товариство «Авдіївський коксохімічний завод».
- Публічне акціонерне товариство «Центренерго» - Вуглегірська ТЕС.

Також результати роботи впроваджені у навчальному процесі Донбаської національної академії будівництва і архітектури, зокрема для навчальних дисциплін спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»: «Технічна експлуатація будівельних конструкцій», «Обстеження та випробування будівельних конструкцій», у рамках подвійного диплому магістра із Політехнічним інститутом м. Лейрія, Португалія – Polytechnic Institute of Leiria – дисципліна «Pathology and rehabilitation of structures».

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні робочої гіпотези, мети і постановці завдань досліджень; інтерпретації отриманих експериментальних даних. Усі основні результати дисертаційної роботи одержані самостійно. Нормативні документи і рекомендації розроблялися у співавторстві з науковим консультантом О.В. Шимановським.

Наукові положення дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримано самостійно. В одноосібних роботах авторів належать: визначення категорій недосконалостей та їхня класифікація на підставі параметрів вузлів [26, 32], оцінка ризиків експлуатації [16, 19, 34, 35], принципи призначення ресурсів [13, 18, 20, 25], методологія розрахунку технологічної безпеки та структура стандарту безпеки підприємства [27], розробка принципів, номенклатури та розрахунок організаційно-технічної безпеки [21].

У публікаціях у співавторстві авторів особисто належать: обґрунтування параметрів технічного стану [37, 51, 52], розробка програми експериментальних досліджень та участь у виконанні та обробці результатів експерименту [1, 2, 7, 12, 22, 23, 33, 42], визначення категорій недосконалостей та груп з'єднань [3-6, 41, 46, 49], методологія призначення технічного стану [29, 47], розробка алгоритму електронної бази даних [10, 17, 53], принципи призначення залишкового ресурсу і ризику експлуатації [14, 36], методологія розрахунку технологічної безпеки та структура стандарту безпеки підприємства [9, 11, 15, 30, 50], принципи призначення ресурсів [24, 48], визначення параметрів пошкоджень та корозійного зносу [43, 44, 45], виконання патентного пошуку, опрацюванні запропонованих методів та можливості використання та застосування неруйнівного методу тепловізійного контролю [28, 31, 38-40].

У дисертації не використовувалися матеріали кандидатської дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації представлено для обговорення на конференціях і конгресах:

- другої світової конференції із сталевих конструкцій. 11-13 Травня, 1998 рік м. Сан-Себастьян, Іспанія;
- другої європейської конференції із сталевих конструкцій EUROSTEEL'99. 26-29 травня, 1999 рік м. Прага, Чеська республіка;
- 7 Українська науково-технічна конференція "Металеві конструкції". 2-6 жовтня, 2000 р., м. Дніпропетровськ;
- Міжнародна 8-ма конференція «Modern Building Materials, Structures and Techniques», Вільнюс, Литва, Vilnius, 19-21 травня, 2004 рік;
- Колоквіумі «Розрахунок і проектування просторових великопрогінних конструкцій», м. Скадовськ, 2007 р.;
- школи-семінару з програми “Менеджмент технологічної безпеки будівель та споруд”, 8-12 жовтня 2007, Місхор, Крим;
- IX Українській науково-технічній конференції «Металеві конструкції: сьогодення та перспективи розвитку», м. Київ, 2008 р.;
- V міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми індустриальних мегаполісів». Донецьк-Авдіївка, Донецький національний технічний університет, травень, 2008 рік;
- Європейському корозійному конгресі «EUROCORR-2009», 6-10 вересня, Ніца, Франція;
- VII міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми індустриальних мегаполісів». Донецьк, Донецький національний технічний університет, травень, 2010 рік;
- Міжнародних наукових конференціях ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» м. Київ, 2008–2013 рр.;
- VI міжнародна науково-технічна «Нові технології в будівництві». «Забезпечення експлуатаційної придатності об'єктів будівництва. Проектування, будівництво, експлуатація, науково-технічний супровід». 24-26 травня 2017р., ДП «НДІБВ», м. Київ;
- міжнародні науково-технічні конференції «Розвиток промисловості і суспільства», Кривий Ріг, КНУ, 2017, 2019 р.р.;
- V...VII міжнародні науково-практичні конференції «Технології і процеси у гірництві і будівництві», 2017-19 р.р., м. Покровськ, ДонНТУ;
- II...III міжнародні конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» 2017, 2019 р.р., Одеса, ОДАБА;
- I...IV міжнародні науково-технічні конференції «Ефективні технології в будівництві». Київ, КНУБА, 2016 – 2019 р.р.;
- наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів і студентів Донбаської національної академії будівництва і архітектури (м. Краматорськ, 2015–2018 р.р.);

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи відображені у 53 наукових працях, з них 31 стаття у фахових виданнях, рекомендованих МОН України (5 з яких індексуються міжнародними базами даних, таких, як Crossref, Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys, DOAJ, BASE, DRJI, OAJI), 4 статті у наукових фахових виданнях інших держав (3 з яких

індексуються SCOPUS), 1 публікація у виданні, що включено до міжнародних наукометричних баз, отримано 4 патенти України на корисну модель, 13 публікацій, що відображають апробацію роботи та додаткові результати.

Структура та обсяг роботи. Дисертацію викладено на 420 сторінках, складається із вступу, 8 розділів, висновків, списку використаних джерел (313 найменувань) та 5 додатків на 66 сторінках; містить 277 сторінок основної частини, в тому числі 49 таблиць, 58 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження, показаний зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовані мета і задачі досліджень, наведені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, а також результати апробації та дані про публікації.

У **першому розділі**, базуючись на інформації щодо металофонду України, виконана оцінка сучасного стану будівельних сталевих конструкцій. Аналіз термінів введення конструкцій в експлуатацію дозволяє зробити висновок, що їх переважна більшість експлуатується з 1950...1985 років, тобто відповідає терміну експлуатації у 70...35 років із практично повністю вичерпаним проектним ресурсом. При цьому кількість аварійно небезпечних конструкцій доходить до 77.8%. Фізичний знос конструкцій на момент їх можливої аварії складає 35-40%, що, враховуючи проектні запаси несучої здатності на рівні 20...30%, також приводить до можливої аварійності сталевих конструкцій в термінах існуючої експлуатації на рівень до 70...75%.

Однією з основних задач власника будівельного об'єкта є визначення термінів його подальшої експлуатації поза межами проектного ресурсу. По-перше, протягом цього терміну, необхідно забезпечити безпеку виробничого процесу, людей та обладнання. По-друге, необхідно прогнозувати вартість об'єкта – ринкову, залишкову, вартість заміщення. Прогнозований термін експлуатації можливо визначити тільки на підставі оцінювання зміни (зносу) параметрів технічного стану, які, в свою чергу, визначаються під час обстеження. Фундаментальними дослідженнями спеціально призначеними для розрахунку ресурсу складних механічних систем є роботи В.В. Болотіна. Визначенню ресурсу як параметра довговічності загальної теорії надійності, призначені монографії О.Р. Ржаніцина та В.Д. Райзера. Переважною більшістю ці роботи були присвячені дослідженню ресурсу машин та механізмів, для яких можливо здійснити аналіз відмов на наявній великій кількості статистичних даних. У рамках державної цільової комплексної програми «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд і машин» (Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, керівник – Б.Є. Патон), були виконані дослідження, на підставі яких розроблені відповідні методики та настановні документи, в тому числі і для будівельних конструкцій. З існуючих методів імовірнісних розрахунків, принципи яких можна застосувати для розрахунків ресурсу сталевих

конструкцій, можна вважати дослідження Стрельнікова В.П., Лантух-Лященко А.І., Ориняк І.В., Сущева С.П., Сизранцева О.Н., Барлоу Р. (Barlow R.), Gerald J., Pandey M.D.

Сучасна концепція експлуатації складних інженерних систем до яких можна віднести будівлі і споруди, передбачає перехід від поняття «абсолютна безпека» до поняття «прийнятний ризик». Для цього необхідно виконання аналізу ризиків та розробка системи керованістю ризиків, тобто зниженню ризиків до прийнятного рівня. У дослідженнях Спільного Комітету з Конструкційної Безпеки (Joint Committee on Structural Safety – JCSS), роботах Хенли Е.Дж., Кумамото Х.Т., Теофаносу (Theofanous T.G.), Авен Т., Juosevicius V., Pēteris D., встановлено, що у загальному вигляді сукупний ризик експлуатації системи R є сумою часткових ризиків R_i з загальної сукупності можливих ризиків, який повинен визначатися з урахуванням розвитку системи за різними шляхами - «сценаріями», який можна представити у загальному вигляді: $R_i = (S_i, P_i, C_i)$, де: S_i – рівень значущості потенційного наслідку, P_i – частота (ймовірність) небезпечної події, C_i – наслідок (руйнування) від події.

Проаналізовані методи розрахунків надійності та безпеки. За поняття безпеки сьогодні у більшості приймаються показники надійності. Базовим поняттям у теорії надійності стає поняття «відмова», під якою розуміють подію, що полягає в переході через один із граничних станів. Для будівельних, в тому числі, сталевих конструкцій, під безпекою розуміють розрахунки на надійність для забезпечення їхньої безвідмовності. Визначені граничні стани, в яких ключова роль відведена коефіцієнтами надійності. Завдяки дослідженням Стрелецького М.С., Балдіна В.О., Гольденблата І.І., Келдиша В.М., Гнеденка Б.В., було доказано, що необхідно визначати безпеку - надійність будівельних конструкцій з урахуванням імовірнісного характеру узагальнених характеристик опору матеріалу та навантажень.

У роботах Білика С.І., Болотіна В.В., Райзера В.Д., Сухова Ю.Д., Тимашева С.А., Чиркова В.П., Дрівінга А.Я., Єгорова Є.А., Кінаша Р.І., Корольова В.П., Куценка В.М., Лантуха-Лященко А.І., Перельмутера А.В., Пічугіна С.Ф., відбувається удосконалення теорії розвитку будівельних конструкцій на надійність, чітко визначаються її особливості та застосування. Слід також відзначити і роботи закордонних вчених Аугусті Г. (Augusti G.), Баратта А. (Baratta A), Кашиати Ф. (Casciati F), Шнайдера Й. (Schneider J), Шінозука М. (Shinozuka M.), Блоклі Д.І. (Blockley D. I.), Барлоу Р. (Barlow R), Прошан Ф. (Proschan F), в яких також було сформовано сучасні принципи теорії надійності. Найбільш характерними документами щодо поєднання понять безпеки та надійності є сучасні Єврокоди.

Але, поняття «безпека» має відмінності від поняття «надійність». Завдання визначення безпеки полягає у призначенні таких кількісних і якісних показників, які дозволяють визначити – з урахуванням припустимого ризику (тобто також у імовірнісній постановці) – умови настання аварії. Ця подія залежить не тільки від досягненням конструкції (або її елементом) граничного

стану, а ще від багатьох інших умов. Почали з'являтися окремі нормативні документи, дослідження вітчизняних - Шимановського В.М., Куценка В.М., Клименка Є.В., Семка О.В., закордонних авторів О.Г. Ветошкіна, В.І. Маруніна, Корнелла С.А. (Cornell C.A.), Кальгаро Дж.А (Calgaro J.-A.), Стинбергена Р. (Steenbergen R.D.J.M.), Суана А. (Suan A.), де проблема безпеки визначена як комплексна та надаються рішення щодо її розв'язання. У сучасних Єврокодах і гармонізованих національних нормах у якості узагальненого показника безпеки запропонована величина, яка має назву «індекс надійності» (ІН) β , який запропоновано вважати як базовий показник конструктивної безпеки конструкцій:

$$\beta = \frac{\bar{S}}{\sigma(S)} = \frac{\bar{R} - \bar{F}}{\sqrt{\sigma^2(R) + \sigma^2(F)}},$$

де $\bar{R}$ - середнє значення несучої здатності - узагальненої міцності елемента (конструкції); $\bar{F}$ - середнє значення ефекту навантаження (впливів) на елемент (конструкції); $\bar{S}$ - резерв міцності при всіх законах розподілу R та F ; $\sigma^2(R)$ та $\sigma^2(F)$ – дисперсія несучої здатності та навантаження відповідно.

Безпечна експлуатація залежить також і від сукупності суб'єктивних факторів та спеціальних заходів та процедур, які запропоновано вважати як показники організаційно-технічної безпеки.

На підставі аналізу попередніх теоретичних та експериментальних досліджень та набутого досвіду була сформована *робоча гіпотеза дисертації*: забезпечення безпеки будівельних сталевих конструкцій в умовах вичерпання їхнього ресурсу може бути здійснено шляхом комплексного поєднання показників надійності (конструктивна безпека) та організаційно-технічних заходів (організаційно-технічна безпека). Прогнозування безпеки повинно здійснюватися у імовірнісній постановці з урахуванням ризиків існування можливих недосконалостей. Задача вирішується шляхом аналізу результатів, отриманих під час обстеження конструкцій із виконанням комплексу необхідних робіт та впровадженням заходів, спрямованих на покращення умов утримання конструкцій.

У **другому розділі** сформульовані основні вимоги забезпечення безпечної експлуатації сталевих конструкцій.

З точки зору безпеки будівельних об'єктів, що експлуатуються, всі ці списки можуть бути розподілені та віднесені до однієї з груп:

- показники природного впливу – група «А»;
- показники технології та виробництва – група «Т»;
- показники конструктивні (будівель та споруд) – група «К»;
- показники організаційно-технічні – група «О»;

Для оцінювання рівня небезпеки будівельних сталевих конструкцій особливу увагу необхідно приділяти показникам груп «К» і «О», тому що тільки для них можливий кількісний розрахунок критеріїв та граничних значень на основі результатів робіт з обстеження та даних нагляду і утримування за весь термін експлуатації будівлі (споруди).

У перелік показників, що впливають на розрахунки надійності - констру-

ктивної безпеки (група «К») сталевих конструкцій, що знаходяться в умовах довготривалої експлуатації, входять дефекти та пошкодження конструкцій.

Для розрахунків загальної безпеки сталевих конструкцій необхідно введення комплексного показника, який би одночасно враховував надійність – конструктивну безпеку та організаційно-технічну безпеку (група «О»). На підставі визначення поняття «безпека» запропоновано називати цей комплексний показник як **безпека технологічна** – часткова складова загальної безпеки промислового підприємства (промислової безпеки), що характеризує систему заходів щодо підтримки працездатності, попередження зниження експлуатаційних властивостей конструкцій будівель, споруд та інженерних мереж, які повністю або значною мірою вичерпали свій нормативний ресурс, та є джерелом потенційної небезпеки по відношенню до технологічних функцій під час експлуатації, в тому числі у межах призначеного продовженого залишкового ресурсу експлуатації об'єкта.

У таблиці 1 для нових конструкцій надані розраховані значення β_0 для цих класів. Індекс n відповідає проектному ресурсу конструкції, який складає 50 років для сталевих конструкцій будівель та споруд, та 100 років для конструкцій мостів. Вплив часу t може бути ураховано шляхом зменшення значення β до βt : $\beta t = \beta - C \cdot \log t$. Значення коефіцієнта C розраховуються таким чином, щоб виконувались вимоги для нормованих значень β встановлених ймовірностей руйнування P_f .

Таблиця 1

Значення β_0 в залежності від СС

Клас наслідків	Причина руйнування		Індекс надійності β_0
	Втрата життя	Економічні	
СС1	незначні наслідки	незначні наслідки	3,3
СС2	середні наслідки	середні наслідки	3,8
СС3	значні наслідки	значні наслідки	4,3

На рис. 1 у графічному вигляді надано графік проектного ресурсу для нових конструкцій на прикладі класу наслідків СС2. Для конструкцій, руйнування яких мають тільки економічні наслідки, рівень β розраховується за формулою $P_f = \Phi(-\beta)/T$, для прийнятого значення T , де T – проектний ресурс у роках. Для конструкцій, домінуючим фактором для яких є життя людини, β залишається постійним для всього проектного ресурсу.

У таблиці 2 наведені значення βt , що узгоджені із прийнятими проектними рівнями β для відповідних класів наслідків з урахуванням проектного терміну експлуатації t .

Таблиця 2

Індекс надійності βt у залежності від СС

Клас наслідків	P_S	βt
СС1	$P_S \leq t \cdot 10^{-2}$	$\beta t \geq \Phi^{-1}\{t \cdot 10^{-2}\} = 2.3 - 0.7 \cdot \log t$
СС2	$P_S \leq t \cdot 3 \cdot 10^{-4}$	$\beta t \geq \Phi^{-1}\{t \cdot 3 \cdot 10^{-4}\} = 3.4 - 0.6 \cdot \log t$
СС3	$P_S \leq t \cdot 3 \cdot 10^{-5}$	$\beta t \geq \Phi^{-1}\{t \cdot 3 \cdot 10^{-5}\} = 4.0 - 0.5 \cdot \log t$

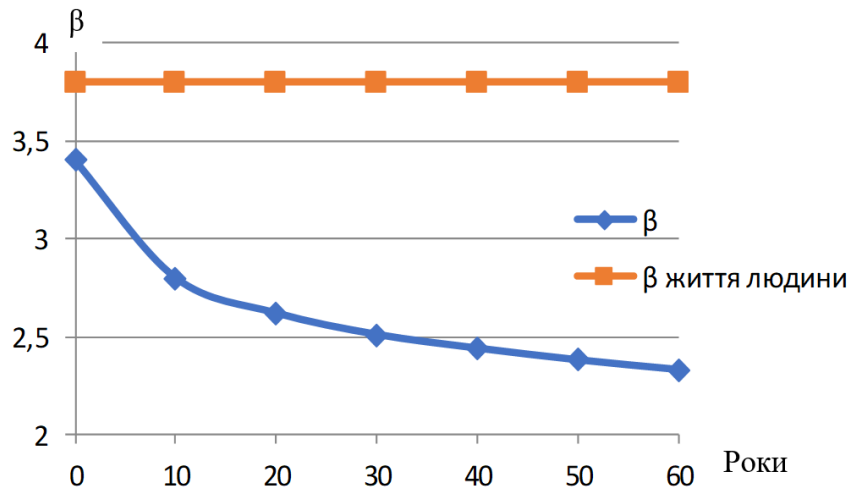


Рис. 1. Річна імовірність руйнування як функція проектного ресурсу для нових конструкцій класу наслідків СС2

Для конструкцій, що експлуатуються, вирішується два класи задач:

- встановлення таких значень індексу надійності, нижче яких конструкція непридатна для подальшої експлуатації;
- встановлення значень ІН для можливого проведення відновлювальних робіт (реконструкція, ремонт).

Рівень ІН $\beta = 3.8$ можна прийнятий за базовий, тому що вищий рівень не-доцільний з економічних міркувань. Встановити рівень ІН β_u , нижче якого експлуатація конструкції не є доцільною можна у вигляді: $\beta_u = \beta_n - \Delta\beta$, $\Delta\beta > 1.0$.

Запропоновано значення $\Delta\beta = 1.5$, яке приблизно дорівнює зростанню імовірності руйнування P_f на $1 \cdot 10^{-1}$. Індекс надійності β_r для конструкцій, які мають бути відремонтовані, можна визначити як:

$$\beta_n < \beta_r < \beta_u,$$

Остаточні значення ІН для всіх типів конструкцій надано у таблиці 3.

Таблиця 3

Значення β в залежності від СС та типів конструкцій

Клас наслідків	β_n (нові конструкції та критерій втрати життя)	β_r (ремонт)	β_u (аварійний стан)
СС1	3.3	2.8	1.8
СС2	3.8	3.3	2.3
СС3	4.3	3.8	2.8

Наведені значення доцільно порівнювати із розрахованими на підставі обстеження конструкцій для визначення їхнього технічного стану.

Третій розділ присвячений проблемі обстеження сталевих конструкцій. Систематизовано процедурні вимоги до огляду і обстежень, запропоновано

термінологічне визначення понять «огляд» та «обстеження». У відповідності до цього, сформований перелік робіт, які входять до робіт з обстеження та складаються у технічний (науково-технічний) звіт. Перелік складено з урахуванням необхідності виконання розрахунків індексу надійності, залишкового ресурсу та ризику експлуатації. На базі узагальнених існуючих нормативів, запропоновано як принципи призначення терміну першого обстеження після вводу об'єкта до експлуатації, так і визначення термінів наступних обстежень. Так, на рис. 2 надано алгоритм призначення терміну першого обстеження за визначеними параметрами технічного стану (ПТС) та наявними дефектами і пошкодженнями (ДП).

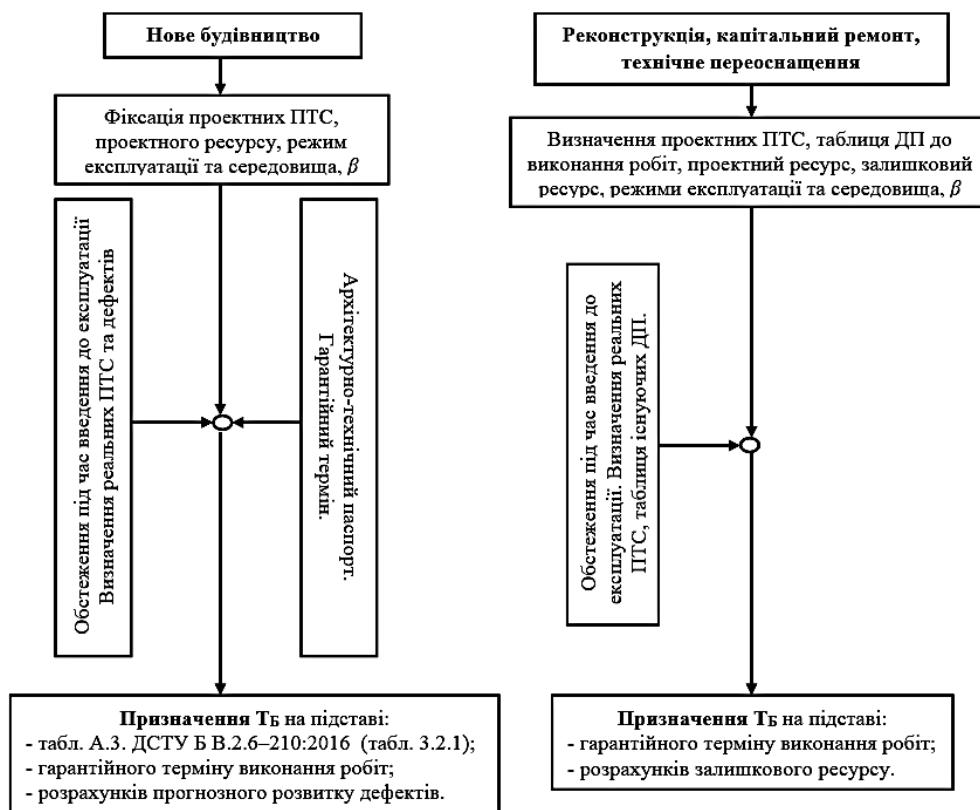


Рис.2. Алгоритм робіт для призначення терміну першого обстеження

З метою уточнення складу робіт, проаналізовані специфічні вимоги до процедури обстеження сталевих конструкцій, які знаходяться під впливом динамічних навантажень. У зв'язку із відсутністю чіткого нормування робіт із застосуванням вібродинамічних методів випробувань під час обстеження будівельних сталевих конструкцій, на прикладі динамічних випробувань кроквяних ферм визначена трудомісткість із нормуванням трудовитрат вібродинамічних випробувань. Витрати праці, отримані дослідним шляхом були співставленні з нормативами за візуальним обстеженням (рис.3).

Для підвищення достовірності обстеження конструкцій із можливими недосконалостями зварного шва, тріщинами та корозії, запропоновано використання відносно нового методу активного тепловізійного неруйнівного контролю - АТНК. Для виконання досліджень було підготовлені спеціальні зразки із імітацією різних недосконалостей. На зразках елементів були імітовані ДП у

вигляді тріщини, надрізів, непроварів, пропалень зварних швів. В процесі досліджень зразки мали різний тип покриття поверхні: оригінальний без фарбування, фарбування олійною фарбою, спеціальне покриття матовою фарбою (рис. 4). Місця контролю навмисно забруднювались та зафарбовувались для ускладнення виконання робіт. Проведено аналіз проблем, що виникають під час застосування АТНК.

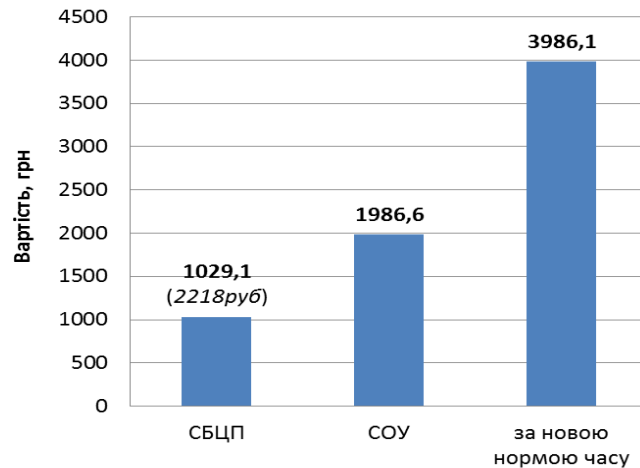


Рис.3. Вартість робіт з вібродинамічних випробувань

Головною перешкодою знаходження ДП із застосуванням ТНК визначені відблиски поверхні конструкцій. На спеціальних зразках із імітованими недосконалостями була доказана принципова можливість застосування методу під час обстеження з виконанням попереднього фарбування спеціальними матовими фарбами. Розроблена методика використання АТНК. Наведено типи термограм недосконалостей у порівнянні із визначеними у діючих нормах.

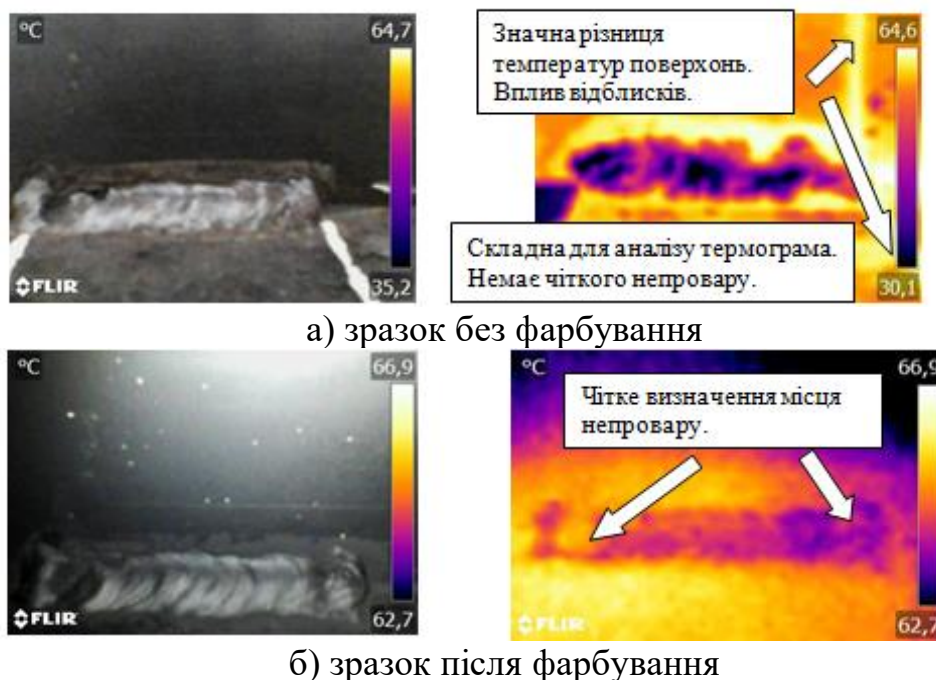


Рис. 4. Термограми зразків із дефектами зварних швів

У четвертому розділі розглядаються принципи призначення технічного стану сталевих конструкцій за результатами обстежень. Перш за все, проаналізована та удосконалена існуюча таблиця дефектів і пошкоджень сталевих конструкцій. Для цього запропоновано наступний алгоритм її формування:

1. Чітке якісне визначення груп категорії ДП.
2. Визначення кількісних параметрів ДП, які наразі не наведені. Необхідність цього пов'язана не тільки із виконанням подальших розрахунків, але й для створення деградаційних моделей розвитку ДП у часі і розрахунків на базі цього ЗР.
3. Розподілення ДП на дві принципових групи – на ті, що напряму не впливають на несучу здатність і загальний ресурс – діагностичні ДП індекс «Д», і на ті, значення яких враховуються при виконанні розрахунків за граничними станами, тобто, які безпосередньо впливають на залишковий ресурс – ресурсні ДП – індекс «Р».
4. Спеціальне маркування тих ДП, які мають значення для конструкцій під динамічними навантаженнями.
5. Уточнення існуючих кількісних значень ДП.
6. Введення нових ДП, які відсутні у таблиці.

Удосконалення полягає також у призначення для всіх дефектів і пошкоджень їхніх кількісних значень для всіх категорій, розподілення на діагностичні та ресурсні, введенням спеціальних позначень недосконалостей для конструкцій під впливом динамічних навантажень.



а) загальний вигляд моделі ферми прогоном 24 метри



б) вид Т-подібного вузла для визначення зон концентрації напружень



в) загальний вигляд К-подібного вузла без підкріплення похилими планками



г) загальний вигляд К-подібного вузла із підкріпленням похилими планками

Рис. 5. Фрагменти експериментальних досліджень ферм та вузлів

Обґрунтування результатів і введення нових типів недосконалостей зроблено на прикладі теоретичних і експериментальних досліджень ферм з решіткою із гнutoзварених профілів і поясами з широкополюх двотаврів. Визначення граничних розмірів пошкоджень виконувалось через експериментальні (рис. 5) та теоретичні розрахунки коефіцієнта концентрації напружень у вузлах, який визначається як:

$$\alpha_{\sigma} = \alpha_{\sigma}^{\text{геом}} \cdot K(\beta) \cdot K(e) \cdot \gamma_{\alpha} \quad (4.2)$$

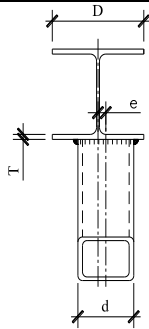
де $\alpha_{\sigma}^{\text{геом}}$ - теоретичний коефіцієнт концентрації напружень, визначений за геометрією вузла; $K(\beta)$ – коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу розкоса на концентрацію напружень. $K(e)$ - коефіцієнт, який враховує вплив зміщення решітки (в мм) на концентрацію напружень. Визначається на підставі результатів обстеження; γ_{α} – коефіцієнт концентрації напружень, що враховує різницю між теоретичним та реальним значенням.

У таблиці 4 надано пропозиції щодо урахування ексцентриситетів вузлів типу «ШПД+ГЗП» для подальшої оцінки технічного стану конструкції, за принципами яких удосконалена і вся таблиця ДП.

Однією з основних задач обстеження конструкцій є призначення їхнього технічного стану. На відміну від діючих, запропоновано три технічних стани – «нормальний», «стан, що потребує ремонту» та «аварійний». Призначення технічного стану повинно відбуватися за загальним алгоритмом розрахунку конструктивної безпеки на основі аналізу проектних рішень та всієї історії обстежень, шляхом розрахунку індексу надійності β найбільш небезпечних елементів з урахуванням відповідного класу наслідків СС. Загальний індекс надійності β для всієї конструкції розраховується в залежності від схеми з'єднань елементів, яка залежить від статичної невизначеності конструкції.

Таблиця 4

Приклад недосконалості з параметричним описом категорії ДП та її індексом

Ін-декс	Найменування ДП	Ескіз	Опис	Параметри	Категорія
Д	Зміщення елементів в вузлах Динамічні навантаження		е – величина ексцентриситету, мм	$e > 15$ мм	А
				$5 < e \leq 15$ мм	Б
				$0 < e \leq 5$ мм	В

Кількісні характеристики рівня кожного із станів за ІН, що розроблені на основі даних таблиць 1-3, наведені у таблиці 5.

Запропоновано алгоритм розрахунку індексу надійності для призначення технічного стану сталевих конструкцій, який наданий на рис 6. Алгоритм вра-

ховує історію експлуатації, результати обстежень, схеми з'єднань елементів в конструкції та конструкцій між собою в єдину систему.

Таблиця 5

Призначення технічного стану в залежності від β та СС.

Клас на- сідків	β	β	β	β
	Проектні	1 - стан задовільний	2 - стан, що потребує ремонту	3 – стан аварійний
СС1	3.3	$3.3 < \beta < 2.8$	$2.8 \leq \beta < 1.8$	$\beta \leq 1.8$
СС2	3.8	$3.8 < \beta < 3.3$	$3.3 \leq \beta < 2.3$	$\beta \leq 2.3$
СС3	4.3	$4.3 < \beta < 3.8$	$3.8 \leq \beta < 2.8$	$\beta \leq 2.8$

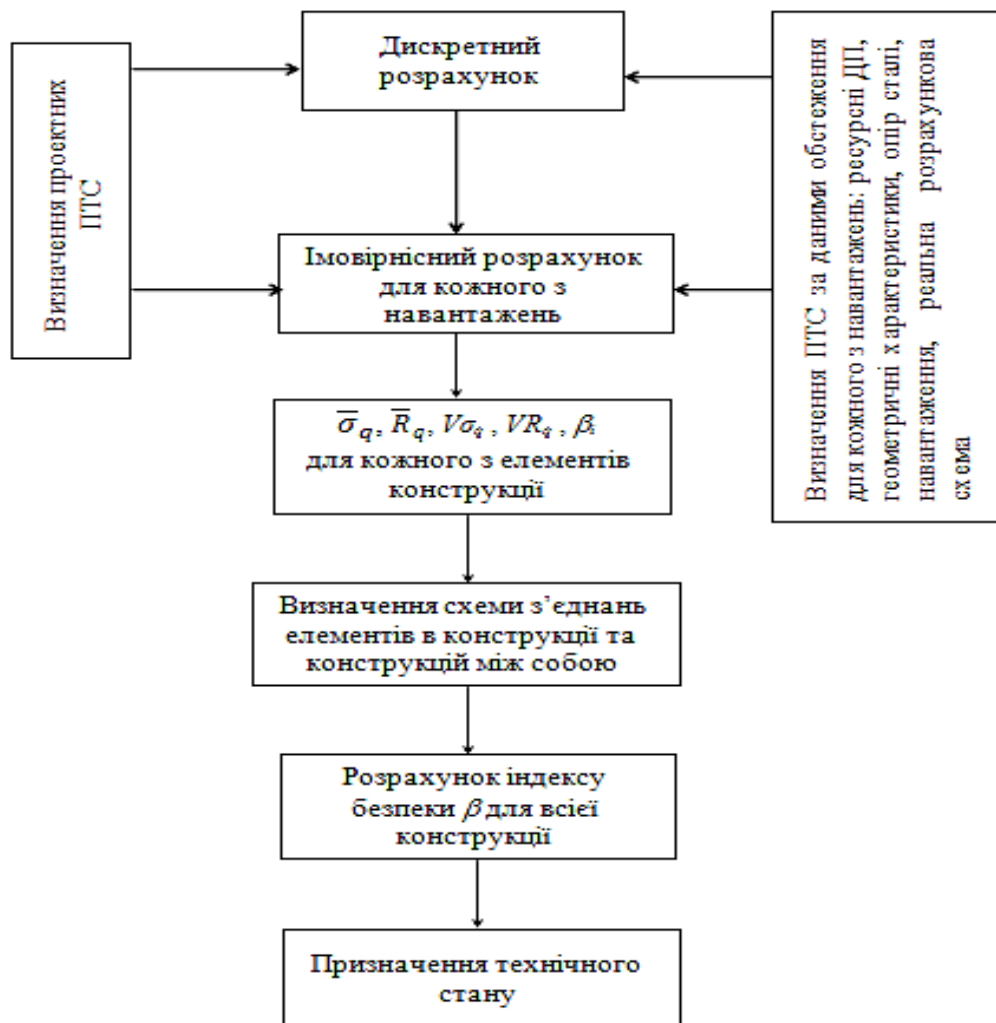


Рис. 6. Алгоритм розрахунку індексу надійності для призначення технічного стану сталевих конструкцій

У п'ятому розділі розвинуто методологію визначення залишкового ресурсу (ЗР) для будівельних сталевих конструкцій. Перш за все, проаналізовані всі види ресурсів для різних етапів життєвого циклу конструкції. Проектний ресурс, який приймається на стадії технічного завдання, та остаточно визначається в процесі проектування, має бути пов'язаний із термінами капітальних

ремонтів, які регламентовані діючими спеціальними правилами і нормами утримання. Запропоновано виконувати перше обстеження під час приймання об'єкту до експлуатації для визначення як початкових ПТС, так і всіх відхилень від проекту з фіксацією ДП та розрахунку початкового (гарантованого ресурсу).

Доведено, що прогнозування залишкового ресурсу можливе тільки на підставі даних параметрів технічного стану системи кожної окремої конструкції та будівлі (споруди) в цілому за прийнятою моделлю експлуатації як повністю, частково відновлювальної або не відновлювальної системи.

Узагальнені існуючі розрахунки залишкового ресурсу детермінованими, напів-імовірнісними та імовірнісними методами. Визначений метод розрахунку залишкового ресурсу на базі індексу надійності β для якого запропоновано відповідний алгоритм та методику виконання за наступним порядком:

1. Розрахунок проектного індексу надійності β_0 як для нової конструкції. Розрахунок здійснюється на нормовані навантаження на час проектування. Розрахункова схема конструкції – ідеальна, без дефектів та пошкоджень. Для імовірнісних розрахунків навантаження приймаються за розрахунковими значеннями (проектне навантаження N_d), характеристичними значеннями без коефіцієнтів надійності (характеристичне навантаження N_n). Розміри перерізів та їхні коефіцієнти варіації визначаються та розраховуються на підставі обмірів під час обстеження. Значення геометричних характеристик (площа, момент опору тощо) приймаються для середніх значень $A_{cp}(\bar{A})$ – за сортаментом, максимальні та мінімальні A_{max} та A_{min} – за даними статистичної обробки обмірів елементів конструкцій (максимальне та мінімальне значення відповідно). Розраховується коефіцієнт варіації площі $V\bar{A}$ та β_0 .

Якщо під час введення в експлуатацію було виконано обстеження конструкції і визначені ДП або зміни перерізів, розрахункових схем, склад постійних навантажень, то це все враховується під час розрахунків β_0 (конструкція не вважається ідеальною, але є базовою для подальших розрахунків).

2. За даними результатів обстежень виконуються розрахунки $\beta_1 \dots \beta_n$ – значення індексу надійності для 1-го ... n -го обстеження. Крім розрахунків на навантаження під час проектування, виконуються розрахунки на навантаження за нормами, що діяли на час обстеження із нормативними (характеристичними) та проектними значеннями – середнє $\bar{N}$. Якщо є статистичні спостереження окремих навантажень можливо застосування цих даних для визначення $\bar{N}$.

3. Виконується необхідна кількість розрахунків для визначення напружень $\sigma_i \dots \sigma_k$ із відповідними сполученнями N та A .

4. Для сукупності $\sigma_i \dots \sigma_k$ визначаються статистичні параметри: середнє - $\sigma_{сер} = \bar{F}$, дисперсія, середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт варіації $V\bar{F}$.

5. Для кожного з навантажень розраховується відповідне значення β_i за та для кожного із значень β_i визначаються імовірність руйнування P_f та імовір-

ність безпеки P_s .

6. В залежності від статичної визначеності конструкції приймається схема з'єднання елементів та виконується розрахунок імовірності відсутності відмови всієї конструкції від кожного окремого навантаження. Аналогічний крок виконується для випадку, коли розраховується система з декількох конструкцій.

7. Складається графік залежності β_i від років експлуатації $T_{E,i}$ (обстеження)

8. Підбирається тип апроксимуючої кривої, що найбільш точно відповідає значенням графіку.

9. На підставі отриманого рівняння лінії тренду, визначаємо термін залишкового ресурсу (приклад на рис. 7), який повинен знаходитись у межах задовільного технічного стану 1 прийнятого класу наслідків СС конструкції або будівлі/споруди за значеннями, що наведені у табл. 5. На даному етапі імовірність визначення терміну залишкового ресурсу можна вважати за імовірність рівня достовірності апроксимації R^2 прийнятої функціональної залежності.

10. Якщо виконується розрахунок ЗР за детермінованими або напівдетермінованими методами, то отримані результати для всієї конструкції можна порівняти із цим частковим розрахунком для обґрунтованого прийняття рішення виконання своєчасних ремонтних робіт.

11. Якщо сталеві будівельні конструкції експлуатуються як відновлювальні системи, рівень ІН буде підвищений після виконання ремонтних робіт (рис. 8). Коригування теоретичної залежності β здійснюється після першого планового обстеження конструкції. Цей термін може бути розрахований на підставі визначених (наперед заданих) значень ІН, або за попередніми розрахунками ЗР як невідновлювальної системи.

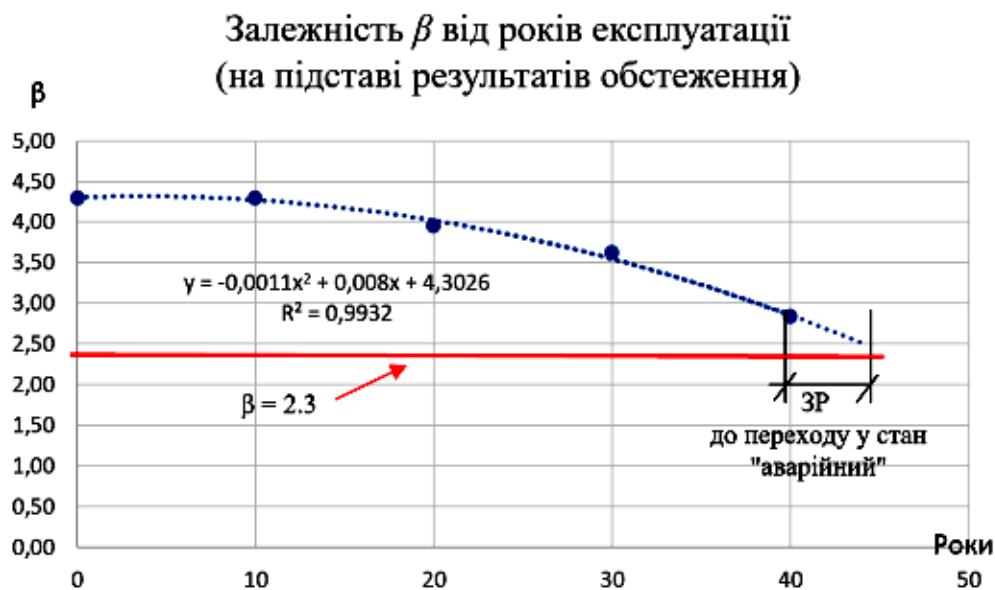


Рис. 7. Розрахунок залишкового ресурсу (приклад)

Для коректного розрахунку нової апроксимуючої кривої, пропонується наявність не менш, ніж чотирьох точок: початкове значення ІН - β_0 (точка 1);

значення ІН після відновлення системи (точка 3); значення ІН першого планового обстеження після відновлення (точка 4). За точку 2 може бути прийняте будь-яке значення β між точкою 1 та точкою 2 із значенням, близьким до β_0 . Цим вимогам, як правило, задовольняє значення β першого обстеження.

Розрахунок β для частково відновлювальної системи

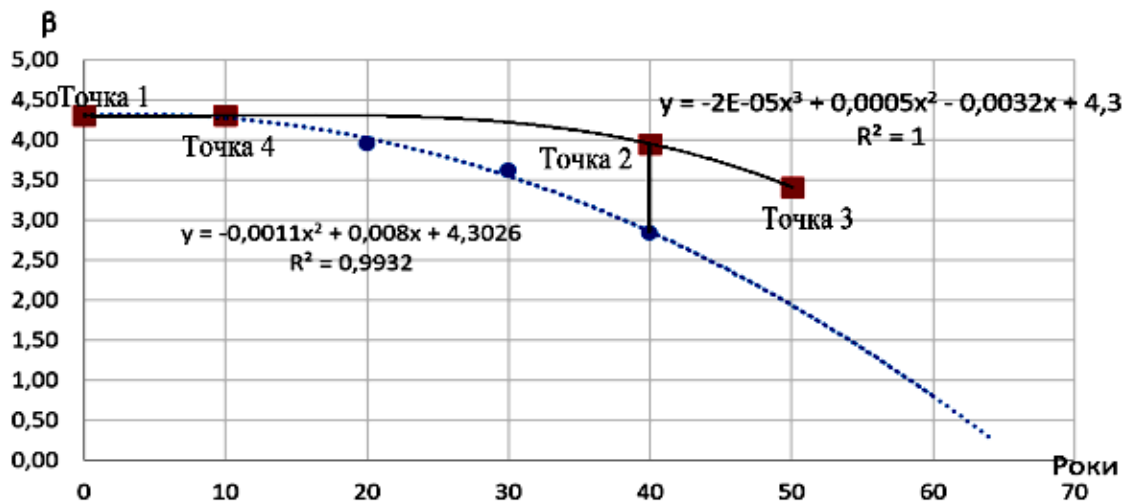


Рис. 8. Розрахунок ЗР після відновлювальних робіт (приклад)

Враховуючи той факт, що залишковий ресурс акумулює всю історію існування конструкції, рекомендовано у технічному звіті за результатами обстеження призначення технічного стану здійснювати із наданням інформації щодо класу наслідків, проектного та поточного індексів надійності, розрахованого терміну наступного обстеження та повинен мати вигляд:

СС; $\beta_0 (T_0)$; $\beta (T_E)$; $T_3 (R^2, \%)$; «технічний стан», $T_{об}$, де T_E – термін експлуатації конструкції до обстеження, роки, T_3 – залишковий ресурс, роки;

Тобто, залишковий ресурс стає базовим показником, який дозволяє перейти від суб'єктивного призначення технічного стану та термінів обстеження до розрахованих показників у імовірнісній постановці. Запропонована методика підкріплена конкретними прикладами розрахунків. Специфічні умови визначення залишкового ресурсу для сталевих конструкцій під дією динамічних навантажень запропоновано виконувати за загальним алгоритмом (рис. 9).

Остаточню ЗР призначається за мінімальним із значень T_3 . Але, враховуючи можливі зміни у технологічному режимі, для призначення технічного стану додаються всі розраховані значення ЗР:

СС; $\beta_0 (T_0)$; $\beta (T_E)$; $T_3: \{(T_3^B, R^2, \%); T_3^B; T_3^f\}$ «технічний стан», $T_{об}$;

де T_3^B – залишковий ресурс розрахований за індексом надійності; T_3^B – залишковий ресурс розрахований за витривалістю; T_3^f – залишковий ресурс розрахований за другою групою граничних станів.

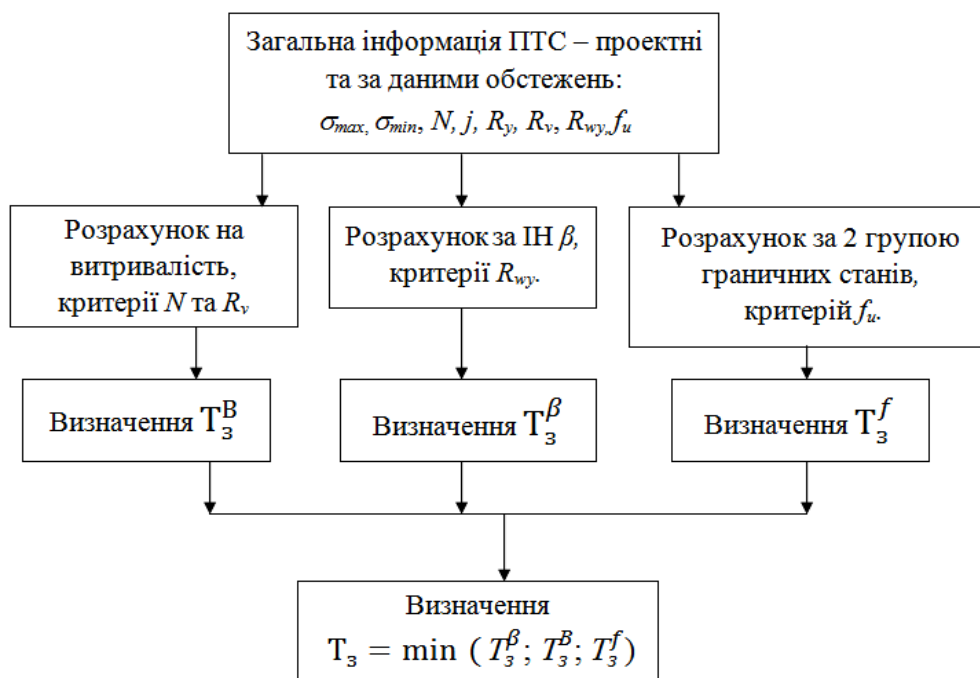


Рис. 9. Загальний алгоритм розрахунку ЗР для конструкцій під дією динамічних навантажень

Шостий розділ містить основні вимоги до організаційно-технічної безпеки (ОТБ), як складової частини технологічної безпеки. Проаналізовані основні завдання технічної експлуатації та процедури компонентів програми реалізації організаційно-технічної безпеки для будівельних об'єктів виробничих підприємств. Доведено, що вимоги до безпечної експлуатації неможливо забезпечити наявним складом фахівців служб технічного нагляду, для чого рекомендований її кількісний та якісний склад (Таблиця 6).

Таблиця 6

Рекомендований склад служб технічного нагляду

Загальна площа виробничих будівель і споруд, тис. м ² .	Кваліфікація	Кількість робітників СТЕ, не менше, ніж
до 50	Інженер (магістр) будівництва Бакалавр (технік) будівництва	2 1
Від 50 до 200	Інженер (магістр) будівництва Бакалавр (технік) будівництва	4 2
Від 200 до 450	Інженер (магістр) будівництва Бакалавр (технік) будівництва	5 3
Від 450 до 700	Інженер (магістр) будівництва Бакалавр (технік) будівництва	6 4
700 і більше	Інженер (магістр) будівництва Бакалавр (технік) будівництва	7 5

Виходячи з основних вимог до задач утримання та експлуатації будівель і споруд та забезпечення їхнього безпечного функціонування, сформовані

показники організаційно-технічної безпеки. Після формування переліку показників групи «О», виникає проблема коректного оцінювання безпеки, у зв'язку з тим, що практично для всіх показників неможливо визначити критичні, граничні та робочі значення параметрів. Але, для кожного показника, можна дати відповідь «існує» чи «відсутнє». Але, для кожного показника, можна дати відповідь «існує» чи «відсутнє». Для кількісного оцінювання організаційно-технічної безпеки (ОТБ) пропонується виконувати розрахунок за індексом безпеки Елмері, що застосовується для аналізу безпеки праці:

$$\text{Індекс ОТБ} = \frac{\text{пункти "існує"}}{\text{пункти "існує"} + \text{пункти "відсутнє"}} \cdot 100\%$$

Як видно, недоліком такого оцінювання є те, що всі показники приймаються рівноцінними. Для більш детального оцінювання можливо використання вдосконаленого індексу – «коефіцієнта ваги», що побудований, наприклад, за трьома рівнями оцінюванням показника «існує»:

- пункти з індексом «О» містять **Обов'язкові**, найбільш важливі, критичні вимоги безпеки, невиконання яких може спричинити невиконання інших показників. Наприклад, до цієї групи можливо включення пунктів наявності правил експлуатації будівель/споруд, стандарту/регламенту технологічної безпеки підприємства та наявності служби нагляду, утримання та технічної експлуатації об'єкту. Для цього індексу прийнято, наприклад, коефіцієнт 3.

- пункти з індексом «В» містять **Важливі** вимоги безпеки, невиконання яких безпосередньо не впливає на безпеку, але вказує на недостатній рівень організації діяльності. Для цього індексу прийнято коефіцієнт 2.

- пункти з індексом «Р» містять Рекомендації з організації безпечної експлуатації та утримання. Ці пункти не є обов'язковими (містять рекомендований характер), але вказують на увагу до питань безпечної експлуатації конструкцій будівель і споруд. Для цього індексу прийнятий коефіцієнт 1.

В такому разі індекс ОТБ, назовемо його індекс ОТБ2, буде мати вигляд:

$$\text{Індекс ОТБ2} = \frac{\text{пункти "існує"} (O \cdot 3 + B \cdot 2 + P)}{\text{всі пункти} (O \cdot 3 + B \cdot 2 + P)} \cdot 100\%$$

Оцінка за індексом ОТБ2 дозволяє більш точно оцінювати дійсний рівень безпеки та вказує на заходи, що необхідно виконати у першу чергу, а також заходи з найбільш очікуваною результативністю.

Рекомендовано додатково у технічному звіті надавати результат призначення технічного стану на підставі розрахунків ОТБ за загальним межами припустимих рівнів ОТБ через відсоток, або через відповідний індекс.

Слід зауважити важливу особливість індексу ОТБ – його значення визначається тільки на момент обстеження із часом може змінюватися у зв'язку із необхідністю постійного оновлення інформації щодо поточного стану буді-

вельних об'єктів. Тому, за результатами обстеження, індекс ОТБ рекомендовано приймати як детерміновану величину (таблиця 8).

Таблиця 7

Рекомендовані показники організаційно-технічної безпеки

№	Показник	Існує		Рівень показника
		так	ні	
1	Наявність архітектурно-будівельного паспорту. Результати інженерних вишукувань (геологія, геодезія)	так		О
2	Існує початкова проектно-конструкторська документація на будівельні конструкції та інженерні мережі	так		О
3	У наявності сертифікати на використані будівельні матеріали	так		О
4	У наявності акти на приховані роботи	так		В
5	Розроблено паспорт технічного стану об'єкту		ні	В
6	Розроблено стандарт (технічний регламент) безпечної експлуатації конструкцій		ні	Р
7	Організовано службу, що відповідає за нагляд, утримання та технічну експлуатацію	так		О
8	Розроблено систему навчання, підготовки та перепідготовки персоналу з експлуатації будівельних конструкцій		ні	Р
9	Розроблено і впроваджено систему моніторингу і діагностики технічного стану конструкцій	так		В
10	Виконується регулярний огляд конструкцій	так		О
11	Виконується регулярне обстеження конструкцій		ні	О
12	Розроблено систему обліку (електронна база даних) технічного стану конструкцій і об'єкта		ні	В
13	Існує система аварійного пожежогасіння та/або контролю виникнення пожежі	так		О
14	Існує стаціонарний доступ до вузлів та конструкцій	так		В
15	Виконуються регулярні ремонтні роботи	так		О
Індекс ОТБ =			66.6% 0,66)	
Індекс ОТБ2=			75% (0,75)	

Таблиця 8

Загальні межі припустимих рівнів ОТБ – індекс ОТБ

Клас наслідків	1 - стан задовільний	2 – стан, що потребує ремонту	3 – стан аварійний
СС1	$\geq 0,75$ (Більше 75%)	0,55...0,75 (55-75%)	$\leq 0,55$ (Менше 55%)
СС2	$\geq 0,6$ (Більше 60%)	0,4...0,6 (40-60%)	$\leq 0,4$ (Менше 40%)
СС3	$\geq 0,55$ (Більше 5%)	0,35...0,45 (35-45%)	$\leq 0,35$ (Менше 35%)

Таким чином, на етапі виконання робіт з обстеження і аналізу функціонування СТЕ, у технічному звіті додатково рекомендовано надавати результат призначення технічного стану на підставі **розрахунків організаційно-технічної безпеки** у вигляді:

СС; індекс ОТБ (%); «технічний стан».

Імовірнісна постановка задачі визначення залишкового ресурсу повинна враховувати можливі ризики, що з'являються під час експлуатації конструкції. Саме це складає зміст **сьомого розділу**. Перш за все, у відповідності до вимог ризик-аналізу, ідентифіковані ризики конструктивної та організаційно-технічної безпеки. З'являється нова задача визначення ризику безпечної експлуатації в межах призначеного залишкового ресурсу з одночасним урахуванням та поєднанням виключно інженерних показників надійності із суб'єктивними показниками організаційно-технічної безпеки. Так, для конструктивної безпеки такими ризиками є можливість існування невизначених під час обстеження недосконалостей у вигляді дефектів та пошкоджень (ДП), для ОТБ - ризик невиконання або припинення дії організаційно-технічних заходів, що складають її показники. У математичному вигляді сформульовані задачі умов безпеки із існуванням ризиків. Основою для оцінювання ризику R , прийнемо функціонал F , що пов'язує ймовірність P виникнення несприятливої події та математичне очікування збитку U від цієї несприятливої події:

$$R = F_R\{U, P\} = \sum_i [F_{R_i}(U_i, P_i)] = \int C(U)P(U)dU = \int C(P)U(P)dP,$$

де: i – вид несприятливої події; C – функція ваги, що враховує взаємний вплив ризиків.

Умова безпеки тоді записується у вигляді:

$$\{R, R_{F,t}\} \leq \{[R], [R_{F,t}]\},$$

де: $R_{F,t}$ – значення ризиків для заданої точки F та часу t , $[R]$, $[R_{F,t}]$ – максимально припустиме значення ризиків.

Аналізуючи фактори небезпеки, можна ідентифікувати наступні ризики експлуатації сталевих конструкцій з позиції виключно конструктивної та організаційно-технічної безпеки.

Для конструктивної небезпеки ідентифіковані наступні ризики:

Група К1 - ризик невизначення під час обстеження недосконалостей, які мають підвищену небезпеку та можуть призвести ДП до переходу у категорію A_d . Група К2 може бути диференційована на підгрупи К1.1 - ризик існування тріщини у основному металі та зварних швах; К1.2 - ризик існування піттингової корозії; К1.3 - ризик існування недосконалості зварних швів.

Група К2 – ризик виникнення ситуацій, які не були враховані під час проектування та не виникли під час експлуатації. Найбільш розповсюджений ризик – зростання навантажень.

Для розрахунків імовірності невизначених недосконалостей розглянуто декілька варіантів аналізу на основі інформації з історії обстежень. Імовірність

існування невизначених ДП розраховується на базі кількості знайдених ДП із різними категоріями. Для прогнозування існування невизначених недосконалостей групи K1 необхідно використовувати інформацію про ДП, що визначені під час обстеження. Можливо два варіанти: варіант А: пошкодження знайдені і вони визначені у відповідних зонах конструкції та варіант Б: пошкодження не виявлені. Але, на підставі теоретичних розрахунків (наприклад, кількість циклів навантаження), їхнє існування можливе.

Так, наприклад, для ситуації варіанту Б, коли пошкодження категорії A_d не знайдені під час обстеження, але вони існують у стані категорії B_d , та гіпотетично можливі, запропонована наступна методика визначення імовірності ризику.

В цьому випадку, кількість визначених i -тих ДП, які знаходяться у зоні dj $K_{vi}(dj)=0$. Розрахунки за методикою варіантів А1 та А2 не мають математичного сенсу. За логікою визначення ризиків, імовірність настання відмови (аварійного стану) повинна враховувати такі показники конструкцій як: співвідношення об'єму обстеження до загального об'єму, кількість всіх визначених ДП категорії B_d - $K_{vi}(dj)$, проектний (призначений) ресурс та залишковий ресурс.

Тому, пропонуються наступні варіанти для прийняття рішення.

1. Вважати імовірність існування ДП $Pi(dj) = A_{vj}/A_{zj}$. Тобто вважати, що вона дорівнює співвідношенню об'ємів (площ, зон, ділянок) конструкції де були виконані обстеження A_{vj} до загального об'єму конструкцій A_{zj} . Цей варіант можна використовувати для конструкцій, які відпрацювали до 75% проектного (призначеного) ресурсу, відповідно мають достатньо великий залишковий ресурс та для конструкцій, де обстеження відповідає умові $A_{vj} \geq 0,8A_{zj}$.

2. Для конструкцій, які працюють поза межами свого проектного ресурсу T_0 , та мають визначений залишковий ресурс T_z пропонується формула імовірності існування невизначених ДП: $Pi(dj) = (A_{vj}/A_{zj}) \cdot \log_{T_0}(T_z)$, або через кількість визначених та загальних ДП категорії B_d : $Pi(dj) = (K_{vj}(dj)/K_{zj}(dj)) \cdot \log_{T_0}(T_z)$.

Розрахований за запропонованими методиками ризик конструктивної безпеки подальшої експлуатації сталевих конструкцій із виявленими та гіпотетичними ДП, дозволяє уточнити результати обстеження - залишковий ресурс та термін наступного обстеження. В даній ситуації з'являється реальна можливість використання системи управління ризиками через їх додаткові розрахунки після виконання ремонтних робіт і регулярного обстеження та паспортизації.

Для організаційно-технічної небезпеки:

Група ОТБ – ризик невиконання або припинення дії організаційно-технічних заходів, що складають показники ОТБ. Можливими наслідками та потенційного створення аварійних ситуацій існування ризиків ОТБ може бути неконтрольована зміна розрахункових схем, виникнення технологічних аварій.

Для ОТБ ризику розраховуються в залежності від наслідків - ваги впливу кожного показника на створення можливої аварійної ситуації. Запропоновано розташувати ці показники за 10-бальною шкалою за пріоритетами зменшення

та із часткою у відсотках від загального об'єму, враховуючи ступінь ваги кожного з показників. Аналіз імовірності можливого настання відмови (аварійної ситуації) для розрахунку ризику, визначив її суто інженерний сенс - ризик зменшення залишкового ресурсу, що в свою чергу, призводить до необхідності уточнення терміну виконання робіт з обстеження, розрахунок якого надано у розділі та підкріплено відповідним прикладом.

Імовірність виконання заходів ОТБ за визначений залишковий ресурс можна визначити як суму частки відсотків всіх показників, що залишилися $N_{i,OTB}$, поділену на максимально можливу у 100%: $P_{OTB} = (\sum N_{i,OTB})/100$. Додатковий ризик впливу ОТБ розраховується як: $R_{OTB} = P_{OTB} \cdot U3$, де $U3$ – вартість витрат на створення необхідних складових ОТБ.

Загальний ризик технологічної безпеки R_T , який складається з ризику конструктивної та організаційно-технічної безпеки, буде мати вигляд:

$$R_T = R_{K1} + R_{OTB} \text{ або } R_T = R_{K2} + R_{OTB}.$$

Для конструкцій із можливими наявними пошкодженнями категорії A_d :

$$R_T = R_{K1} + R_{K2} + R_{OTB},$$

де R_{K1} та R_{K2} – ризики для груп $K1$ та $K2$ відповідно.

У останньому, **восьмому розділі**, надано заходи підвищення показників технологічної безпеки підприємства. Для запобігання аварійним ситуаціям слід впроваджувати і підтримувати у робочому стані систему менеджменту технологічної безпеки, розроблену на рівні стандартів технологічної безпеки підприємства, структуру і склад яких наведено для практичного застосування. Узагальнення інформації з обстеження, можливо здійснювати тільки за допомогою інформаційних систем – електронних баз даних. Для їхнього активного впровадження надані рекомендації до складу розділів, структури доступу для формування та редагування запитів та звітів.

Враховуючи необхідність кваліфікованих кадрів як для служб технічної експлуатації, так і для виконання робіт з обстеження, розроблені вимоги до експертів з технічного обстеження будівель і споруд із наданням рекомендацій для програм професійного навчання та здачі кваліфікаційних іспитів. Запропоновано видавати відповідні сертифікати із фіксованим терміном дії з урахуванням базової освіти та професійного досвіду виконання робіт з обстеження будівель і споруд із різним рівнем класів наслідків.

Додатки містять матеріали, які ілюструють та доповнюють надані у основних розділах матеріали, а саме: модифіковану таблицю дефектів та пошкоджень для сталевих конструкцій, приклади теплограм методу активного теплового неруйнівного контролю, приклад розробленої електронної бази даних «Ресурс».

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу факторів впливу щодо забезпечення безпечної експлуатації будівельних сталевих конструкцій, запропоновано комплексний показник «технологічна безпека», який складається із двох основних чинників, які можуть бути оцінені кількісно за результатами обстеження – конструктив-

на безпека (відмова та ресурс) і організаційно-технічна безпека (організація безпечної експлуатації та утримання шляхом проведення відповідних процедур).

2. У якості інтегрованого показника конструктивної безпеки запропоновано індекс надійності який розраховується у імовірнісному вигляді за критерієм відмови. Індекс надійності повинен визначитися під час виконання робіт з обстеження на підставі реально отриманої інформації. Індекс надійності призначається окремо для нових конструкцій і для конструкцій, що знаходяться в експлуатації із розподіленням в залежності від класу наслідків конструкції. Значення проектного рівня надійності залежить від можливої імовірності руйнування та має однакове значення як для конструкцій, руйнування яких призводить виключно до економічних наслідків, так і для тих, руйнування яких загрожує життю людини. Запропоновано таблицю із нормованими значеннями індексу надійності в залежності від класів наслідків та категорії технічного стану конструкції.

3. Узагальнено існуючи терміни проведення першого обстеження. Запропоновані алгоритми призначення терміну першого обстеження після виконання відновлювальних робіт в залежності від рівня відповідальності об'єкта та його технічного стану.

4. Надано структурно-логічну схему послідовності динамічних випробувань. Сформовано задачі вібродинамічних випробувань. Вказано на необхідність контролю конструкцій за другою групою граничних станів – поява резонансу та додаткових переміщень. Проаналізовано і систематизовано дані чинних нормативних документів щодо призначень норм часу, витрат та вартості робіт на проведення вібродинамічних випробувань у складі робіт з обстеження. На підставі проведених реальних вимірів, визначена трудомісткість цих робіт.

5. Для збільшення якості виконання робіт з обстеження під час пошуку можливих дефектів і пошкоджень у вигляді піттингової корозії, тріщини та недосконалості зварних швів, запропоновано до використання метод активного теплового неруйнівного контролю – АТНК. На спеціальних зразках із імітованими недосконалостями була доказана принципова можливість застосування методу під час обстеження з виконанням попереднього фарбування спеціальними матовими фарбами. Розроблена методика використання АТНК. Наведено типи термограм недосконалостей у порівнянні із визначеними у діючих нормах.

6. Наведено удосконалений приклад існуючої нормативної таблиці дефектів та пошкоджень із чітким параметричним кількісним описом кожної недосконалості для визначеної категорії. Виконано розподілення ДП на дві принципових групи – на ті, що напряму не впливають на несучу здатність і загальний ресурс – діагностичні ДП, і на ті, значення яких враховуються при виконанні розрахунків за граничними станами, тобто, які безпосередньо впливають на залишковий ресурс – ресурсні ДП. Запропоновано спеціальне маркування тих ДП, які мають значення для конструкцій під динамічними навантаження-

ми. На основі експериментальних та теоретичних досліджень вузлів ферм сталевих конструкцій типу «широкополий двотавр + гнutoзварений профіль» встановлені граничні параметри ексцентриситету примикання решітки, що дозволило розширити існуючу таблицю новим типом дефекту.

7. Надано рекомендації розрахунку індексу надійності для призначення технічного стану та на підставі цього - загальний алгоритм розрахунку конструктивної безпеки. Категорію технічного стану призначати на підставі розрахунку індексу надійності β , який враховує схеми з'єднання елементів в конструкції. Запропоновано три категорії технічних станів. Запропоновано за розрахунками індексу надійності на базі даних технічного обстеження надавати у технічному звіті визначення технічного стану як сукупності результатів: класу наслідків, проектного і існуючого значення індексів надійності, розрахованого залишкового ресурсу, технічного стану та терміну наступного обстеження. Доведено, що розрахунок термінів залишкового ресурсу має стати одним з головних результатів обстеження при визначенні технічного стану. Використання детермінованих та напів-імовірнісних методів можливе для попередньої його оцінки. Вирішення задачі надійності можливе тільки для імовірнісних (стохастичних) моделей. Оцінювання залишкового ресурсу має відбуватися тільки для умов експлуатації конкретної конструкції або типової групи конструкцій. Використання існуючих загальних теоретичних ймовірностей і розподілів можливе тільки для попереднього оцінювання та подальшого порівняння, узгодження та урахування реально існуючих параметрів технічного стану. Запропоновано порядок визначення залишкового ресурсу на основі аналізу індексу надійності у імовірнісній постановці. Порядок враховує як можливість використання наявної інформації попередніх обстежень, так і розрахунок на підставі проектних і поточних даних. Запропоновано загальний алгоритм розрахунку залишкового ресурсу для конструкції під дією динамічних навантажень. Для цього випадку також надана сукупність результатів для призначення технічного стану та відображення у технічному звіті.

8. Розроблено номенклатуру показників ОТБ, виходячи з вимог задач утримання будівельних конструкцій. Запропоновано принципи розрахунку рівнів та загальних меж показників ОТБ, в тому числі з урахуванням важливості кожного показника. Визначена вага впливу та загальні межі кожного з показників ОТБ та розрахована імовірність виконання заходів в межах призначеного залишкового ресурсу. Наведені пропозиції для призначення $T_{об}$ в залежності від розрахованого залишкового ресурсу та імовірності можливого існування невизначених під час обстеження дефектів та пошкоджень. Запропоновано поліпшені заходи для функціонування служб технічної експлуатації щодо забезпечення безпеки експлуатації конструкцій в умовах вичерпання ресурсу. Для редакції існуючих нормативних показників, рекомендовано кількісний і якісний склад служби технічної експлуатації будівель і споруд промислового підприємства. Запропоновані загальні формули розрахунку технологічної безпеки як складової конструктивної та організаційно-технічної безпеки.

9. Визначені загальні математичні залежності розрахунку ризиків та ідентифіковані ризики експлуатації сталевих конструкцій для розрахунків конструктивної та організаційно-технічної безпеки. Запропоновано метод оцінювання ризику конструктивної безпеки за можливої наявності невизначених під час обстеження недосконалостей. Розглянуто варіанти урахування наявності або відсутності недосконалостей в залежності від попередньої історії обстежень та критичних розмірів ДП. Рекомендовано метод розрахунку терміну обстеження, який базується на залишковому ресурсі та імовірності існування невизначених недосконалостей.

10. Проаналізовано особливості та структуру служби технічної експлуатації будівель і споруд для забезпечення заходів підвищення рівня організаційно-технічної безпеки. Для системної організації безпечної експлуатації будівельних об'єктів доведена необхідність наявності на підприємстві затвердженого керівного документа – Стандарту технологічної безпеки. Запропоновано структуру цього документа.

11. Визначено основні розділи електронної бази даних – організаційного документу для систематизації та аналізу інформації поточного стану об'єктів. Запропоновано блок-схему бази даних та структуру доступу для її формування та редагування.

12. Визначено фахові вимоги до експертів з технічного обстеження будівель і споруд. Проаналізовано аналіз модулів теоретичної підготовки підвищення кваліфікації експертів. Сформовано перелік компетенцій та знань для експерта з обстеження. Запропоновано перелік запитань для складання фахового іспиту.

Список публікацій праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Югов А.М. Выбор модели отказов (функции распределения) для аппроксимации данных испытаний строительных металлических конструкций. / А.М. Югов, С.В. Колесниченко, Т.Г. Калашникова // Вестник ДонГАСА, № 2000-1 (21), 2000 . - С. 59-62.

2. Югов А.М. Динамические испытания и диагностика бункерной этажерки. / А.М. Югов, С.В. Колесниченко, Д.В. Левченко, А.С. Васильев, Ю.П. Некрасов, А.Н. Миронов, Е.В. Денисов, С.С. Аноприенко // Вісник ДонДАБА «Будівлі та споруди». 2001-04 (29) Том 2. – 2001. – С. 47-53.

3. Колесниченко С.В. Влияние геометрических параметров на напряженно-деформированное состояние и концентрацию напряжений V-образных узлов с поясом из широкополочного двутавра и решеткой из гнутосварных замкнутых профилей. / С.В. Колесниченко, А.Н. Миронов // Сборник научных трудов «Строительство. Материаловедение. Машиностроение». Приднепровская ГАСА. – Вып. 18. - Днепропетровск. – 2002. – С. 90-99.

4. Колесниченко С.В. Исследование напряженно–деформированного состояния и концентрации напряжений в К–образных узлах плоских решетчатых конструкций. / С.В. Колесниченко, А.Н. Миронов // Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – Вип. 64. - Київ. – 2002. – С. 127-130.

5. Колесниченко С.В. Напряженно–деформированное состояние сварных бесфасоночных узлов с использованием широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей. / С.В. Колесниченко, А.Н. Миронов // Вісник ДонДАБА. – Вип. 2003 – 2(39) - Том 1. – 2003. - С. 107-115.

6. Колесниченко С.В. Определение теоретического коэффициента концентрации напряжений в сварных бесфасоночных узлах плоских стержневых конструкций с использованием широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей. /С.В. Колесниченко, А.Н. Миронов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – № 10-11 (70-71), 2003. - С. 62-69.

7. Югов А.М. Динамические испытания моста транспортной галереи. /А.М. Югов, С.В. Колесниченко, Д.В. Левченко, Ю.П. Некрасов, Е.В. Денисов // Металеві конструкції. Том 6, Номер 1. Київ: - УАМК, 2003. – С. 35-43.

8. Колесніченко С.В. Экспериментальные исследования коэффициента концентрации напряжений Т-образных узлов конструкций с применением широкополочных двутавров и решеткой из гнутосварных замкнутых профилей. /С. В. Колесниченко, А.Н. Миронов, И.Н. Кулик // Металеві конструкції. Том 9, № 1. Макіївка: - УАМК, 2006. – С. 69-79.

9. Золотарев И.В. Создание системы управления технологической безопасностью объектов ЗАО «Макеевкокс»/ И.В. Золотарев, А.А. Кулик, Г.В. Король, В.П. Королев, С.В. Колесниченко // Углекислотный журнал. № 5, 2007. - С. 90-93.

10. Шимановский А.В. Методологические основы создания информационных систем учета действительного состояния эксплуатирующихся строительных конструкций. / А.В. Шимановский, С.В. Колесниченко // Збірник наукових праць Укрдїпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського. Відп.ред. О.В. Шимановський // Київ: - Вид-во «Сталь»,2008. Вип. 1 – С. 68-74.

11. Колесниченко С.В. Методика определения технологической безопасности пролетных строений транспортных галерей /С.В. Колесниченко, Ю.Г. Сулима // Збірник наукових праць Укрдїпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського. Відп.ред. О.В. Шимановський // Київ: – Вид-во «Сталь»,2008. Вип 2. – С. 104-110.

12. Колесниченко С.В. Динамические испытания конвейерных галерей при вводе в эксплуатацию. / С.В. Колесниченко, А.Н. Гибаленко, М.С. Баландин, Д.В. Фелюст // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). - Полтава: - ПолтНТУ, Вип. 3 (25), т.2, 2009. – С.108-113.

13. Колесниченко С.В. Прогнозирование остаточного ресурса стальных конструкций. / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. // Випуск 18 – Рівне: - Національний університет водного господарства та природокористування. 2009. – С. 507-514.

14. Шимановский А.В. Назначение срока проведения первого обследования для определения остаточного ресурса стальных конструкций./ А.В. Шимановский, С.В. Колесниченко // Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського. Відп.ред. О.В. Шимановський // Київ: - Вид-во «Сталь», 2009. Вип. 3. – С. 13-20.

15. Колесниченко С.В. Формирование принципов обеспечения технологической безопасности для предприятия с разветвленной территориальной структурой. / С.В. Колесниченко, А.Н. Гибаленко, Ю.В. Селютин // Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського./ Відп.ред. О.В. Шимановський // Київ: – Вид-во «Сталь», 2009. Вип. 4. – С. 15-23.

16. Колесниченко С.В. Оценка риска эксплуатации металлических конструкций. / Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського. Відп.ред. О.В. Шимановський // Київ: – Вид-во «Сталь», 2010. Вип. 5. – С. 151-158.

17. Колесниченко С.В. Категории дефектов и повреждений стальных конструкций для формирования регистрационных систем при обследовании зданий и сооружений. / С.В. Колесниченко, В.А. Головченко //Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського. Відп.ред. О.В. Шимановський // Київ: – Вид-во «Сталь», 2010. Вип. 6. – С. 111-118.

18. Колесниченко С.В. Принципы определения остаточного ресурса строительных конструкций в условиях их длительной эксплуатации. Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського./ Відп.ред. О.В. Шимановський // Київ: - Вид-во «Сталь», Вип. 7.- 2011- С. 86-96.

19. Колесниченко С.В. Оценка рисков эксплуатации стальных конструкций в условиях исчерпания их ресурса. Промислове будівництво та інженерні споруди. №1, 2013. - С. 14-18.

20. Колесниченко С.В. Принципы назначения проектного и начального ресурсов для строительных конструкций. / Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського. Відп. ред. О.В. Шимановський // К. Вид-во «Сталь». Вип. 12, 2013. - С. 95-109.

21. Колесніченко С.В. Розрахунок організаційно-технічних показників безпеки підприємства. Всеукраїнський науково-технічний журнал. “Вісті Донецького гірничого інституту. - Покровськ, ДВНЗ «ДонНТУ» 1(40) 2017. - С. 158-164. (*Наукометричні бази: Crossref*).

22. Денисов Е. В. Використання динамічних експрес-тестів для підвищення ефективності технічного обстеження сталевих конструкцій./ Є. В. Денисов, Д. О. Хохрякова, С.В. Колесніченко // Будівельне виробництво. №63/1/ 2017.- С. 53- 62.

23. Хохрякова Д.О. Нормування вібродинамічних випробувань сталевих ферм при проведенні технічних обстежень реконструйованих будівель./Д.О. Хохрякова, С.В. Колесніченко, Є.В. Денісов //Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. Випуск 44. /2017. – С. 106-111.

24. Шимановський О.В. Визначення процедури та складу обстеження з метою розрахунку залишкового ресурсу / О.В. Шимановський, Колесніченко С.В. "Промислове будівництво та інженерні споруди». № 3, 2018. - С. 2-6.

25. Колесніченко С.В. Визначення категорій дефектів та пошкоджень сталевих будівельних конструкцій для розрахунків залишкового ресурсу. / Вісник Криворізького національного університету.// Випуск 46, 2018. - С. 32-37. (*Наукометричні бази: Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys*).

26. Колесніченко С.В. Класифікація дефектів та пошкоджень вузлів сталевих будівельних конструкцій, що знаходяться під впливом динамічних навантажень. /«Вісник ОДАБА». Випуск №71, 2018. – С. 30-37.

27. Колесніченко С.В. Методологія розрахунку технологічної безпеки сталевих будівельних конструкцій. Всеукраїнський науково-технічний журнал. “Вісті Донецького гірничого інституту”. – Покровськ: - ДВНЗ «ДонНТУ». 1(42) 2018. – С. 154-161. (*Наукометричні бази: Crossref*).

28. Колесніченко С.В. Використання термографічного способу контролю для виявлення недосконалостей сталевих конструкцій. /С.В. Колесніченко, А.О. Попаденко./Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах ринкових відносин. Збірник наукових праць. Вип. 39. Частина1.– К.:КНУБА, 2019. – С.13-20.

29. Колесніченко С.В. Визначення технічного стану сталевої кроквяної ферми промислової будівлі за показником індексу надійності β . /С.В. Колесніченко, І.Ю. Черних //Вісті Донецького гірничого інституту. Всеукраїнський науково-технічний журнал. - Покровськ, ДВНЗ «ДонНТУ» 1(44) 2019. – С. 107-115. DOI: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-107-115>. (*Наукометричні бази: Crossref, Index Copernicus*).

30. Колесніченко С.В. Вимоги до експертів з технічного обстеження будівель і споруд. /С.В. Колесніченко, Ю.В. Селютін, К.Б. Мнацаканян // Гірничий вісник. Науково-технічний збірник Криворізького національного університету. Випуск 105. 2019. – С.18-23. DOI: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-18-24. (*Наукометричні бази: Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys, CrossRef, DRJI, SIS*).

31. Колесніченко С.В. Використання термографічного способу контролю для виявлення недосконалостей сталевих конструкцій./ С.В. Колесніченко, А.О.Попаденко // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах ринкових відносин. Збірник наукових праць. Випуск 39. Частина1. – К.: КНУБА, 2019. – С. 13-20.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

32. Kolesnichenko S. Static tests of trusses with H-beam chords and RHS members. – Journal of Constructional Steel Research. 1998. Volume 46, Issue 1. pp.122-123. (*Наукометричні бази: SCOPUS*).

33. Horokhov Ye.V. Research of statistical characteristics for wind impulses./ Ye.V. Horokhov, Yu.P. Nekrasov, A.M. Yugov, S.V. Kolesnichenko. – International journal of fluid mechanics research. 2002. Volume 29, issue 3&4, pp.242-248. DOI: 10.1615/InterJFluidMechRes.v29.i3-4.180. (*Наукометричні бази: SCOPUS*).

34. Kolesnichenko S. Steel structures residual life's determination with the safety index. – IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), vol 16, issue 2, Ser. V (Mar.-Apr. 2019). pp.12-18. www.josrjournals.org: DOI: 10.9790/1684-1602051218. (*Наукометричні бази: J-GATE; CrossRef; SAO/NASA; arXiv; ANED*).

35. Kolesnichenko S. The Principles of Risk Assessment for Building Steel Structures with Imperfections. – International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). Volume-8. Issue-8. June 2019. – pp. 2735 – 2739. (*Наукометричні бази: SCOPUS; Index Copernicus; DOAJ; J-GATE; WorldCat; INFORMAT-ICS; DRJI; Research Gate; ROAD; DIGG*).

Стаття у виданні, що включено до міжнародних наукометричних баз

36. Колесніченко С. В. Загальні принципи оцінки ризику експлуатації сталевих конструкцій та визначення їх залишкового ресурсу. / С. В. Колесніченко, Ю. В. Селютін, І. Ю. Черних, К. Б. Мнацаканян // Scientific Journal «ScienceRise» № 11(40) 2017. - С. 37-42. DOI:10.15587/2313-8416.2017.116444. (*Наукометричні бази: CrossRef, WorldCat, DOAJ, DRJI, SIS та інші*).

Патенти на корисні моделі

37. Колесніченко С.В. Спосіб оцінки технічного стану сталевих конструкцій будівель і споруд. / С.В. Колесніченко, К.Б. Мнацаканян, І.Ю. Черних, В.М. Абрамов, К.В. Полянський // Патент України на корисну модель № 114712 від 10.03.2017.

38. Колесніченко С.В. Спосіб безконтактної дефектоскопії металевих конструкцій / С.В. Колесніченко, О.Г. Шарабарін, І.В. Точонов, С.В. Ковтун, К.Б. Мнацаканян, С.В. Путілін, А.О. Попаденко // Патент України на корисну модель № 117575 від 26.06.2017.

39. Кравець В.А. Спосіб безконтактної неруйнівної дефектоскопії металевих конструкцій./ В.А. Кравець, С.В. Колесніченко, І.В. Точонов, К.Б. Мнацаканян, О.Г. Шарабарін, Б.Д. Гололобов, А.О. Попаденко //Патент України № 125968. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.05.2018.

40. Кравець В.А. Спосіб термографічної дефектоскопії металевих конструкцій./ В.А. Кравець, С.В. Колесніченко, І.В. Точонов, К.Б. Мнацаканян, Ю.В. Селютін, А.О. Попаденко, С.В. Путілін //Патент України № 136685. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 27.08.2019.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

41. Kolesnichenko S. Theoretical stress concentration factors for joints with H-beams and RHS-members / S. Kolesnichenko, A. Mironov // Proceedings of International 8th conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques., Vilnius, Lithuania, May 19-21, 2004. – pp.521-525. (*Наукометричні бази: Web of Science Core collection*).

42. Kolesnichenko S. The development of design guide for rigid connections with H-beam elements based on experimental investigations. / S. Kolesnichenko, A. Yugov.//EUROSTEEL'99. Proceedings of the 2nd European conference on steel structures. Prague, Czech Republic/ 26-29 May, 1999 /Volume 2, pp. 531-535.

43. Korolev V. Justification of requirements to steel structures protection by corrosion criterion. /V. Korolev, Y. Vysotskiy, O. Gibalenko, S. Kolesnichenko // EUROCORR-2009 – Corrosion from the Nanoscale to the Plant /6-10 September, Nice, France / Available on CD – Book of Abstracts.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

44. ДСТУ Б В.2.6-74:2008. Конструкції будинків і споруд. Ферми сталеві кроквяні із гнutoзварних профілів прямокутного перерізу. Технічні умови (на заміну ГОСТ 27579-88).

45. ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування.

46. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування.

47. Колесниченко С.В. Учет технического состояния строительных конструкций производственного предприятия. / С.В. Колесниченко, А.А. Кулик, В.А. Суярко // Современные строительные конструкции из металла и древесины/Сборник научных трудов ОГАСА. Одесса: ООО «Внешрекламсервис», Часть 1, 2008. – С. 153-158.

48. Шимановский А.В. Предупреждение аварийных ситуаций в условиях истощения ресурса металлических конструкций. /А.В. Шимановский, С.В. Колесниченко // Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського/ Відп. ред. О.В. Шимановський.// Київ: Вид-во «Сталь»,– 2010. Вип. 5. – С. 140-150.

49. Колесниченко С.В. Исследование напряженно-деформированного состояния и концентрация напряжений в узлах плоских решетчатых конструкций с учетом упругопластической работы материала. / С.В. Колесниченко, А.Н. Миронов // Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського./ Відп.ред. О.В. Шимановський. // К. Вид-во «Сталь», 2010. Вип. 6. – С. 99-110.

50. Колесниченко С.В. Структура стандарта предприятия обеспечения технологической безопасности. / С.В. Колесниченко, А.А. Кулик, В.А. Суярко // Збірник наукових праць Укрндіпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського./ Відп. ред. О.В. Шимановський. // К. Вид-во «Сталь», 2011. Вип. 7. – С. 160-168.

51. Абрамов В.М. До питання оцінки технічного стану будівельних конструкцій, будівель і споруд./ В.М. Абрамов, С.В. Колесніченко // Будівництво України. №4, 2016. - С. 2-5.

52. Абрамов В.М. Про розрахункову перевірку несучої здатності конструкцій будівель і споруд для оцінювання їх технічного стану. /В.М. Абрамов, С.В. Колесніченко //Будівництво України. № 2, 2017. - С. 38-41.

53. Колесніченко С.В. Регистрации технического состояния производственных объектов на основе экспертных систем. / С.В. Колесніченко, А.Н. Гибаленко, Т.С. Трофимчук // Захист металургійних машин від поломок. – Маріуполь, 2014. – Вип. 16. – С. 67–69.

АНОТАЦІЯ

Колесніченко С.В. Технологічна безпека будівельних сталевих конструкцій. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Одеса, 2020 рік.

Розроблені теоретичні підходи до обґрунтування показників технологічної безпеки сталевих конструкцій, що знаходяться в умовах довготривалої експлуатації для визначення технічного стану та розрахунку залишкового ресурсу на основі нормованих індексів надійності із оцінюванням ризиків їхньої подальшої експлуатації. Удосконалена номенклатура діагностичних та ресурсних параметрів пошкоджень сталевих конструкцій, розроблена математична модель розрахункової оцінки залишкового ресурсу на основі узагальненого нормованого показника конструктивної безпеки – індексу надійності. Доведена принципова можливість використання методу активного теплового неруйнівного контролю для обстеження, запропоновано методику проведення пошуку недосконалостей із порядком основних операцій. Розвинена таблиця недосконалостей сталевих конструкцій. Запропоновано три технічних стани: «задовільний», «стан, що потребує ремонту» та «аварійний». Розраховано кількісне значення рівнів індексу надійності для кожного з технічних станів. Запропоновано алгоритм розрахунку залишкового ресурсу на основі індексу надійності. Сформовано номенклатуру показників, що характеризують ефективність функціонування служб технічної експлуатації, визначено їхні рівні. Введено індекс організаційно-технічної безпеки. Надано методологію якісного та кількісного розрахунку ризику експлуатації із невизначеними під час обстеження недосконалостями. Запропоновано процедуру розрахунку технологічної безпеки з урахуванням конструктивної та організаційно-технічної безпеки за показниками відповідних індексів в межах залишкового ресурсу з визначеним ризиком подальшої експлуатації. Запропоновані заходи підвищення рівня технологічної безпеки.

Ключові слова: безпека, будівельні сталеві конструкції, дефекти, залишковий ресурс, індекс надійності, надійність, обстеження, пошкодження, ресурс, ризики експлуатації, технічний стан, технологічна безпека.

АННОТАЦИЯ

Колесниченко С.В. Технологическая безопасность строительных стальных конструкций. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. Одесская государственная академия строительства и архитектуры – Одесса, 2020.

Разработаны теоретические подходы для обоснования показателей технологической безопасности стальных конструкций, находящихся в условиях длительной эксплуатации для определения технического состояния и расчета остаточного ресурса на основании нормированных индексов надежности с оценкой рисков их дальнейшей эксплуатации. Усовершенствована номенклатура диагностических и ресурсных параметров повреждений стальных конструкций, разработана математическая модель расчетной оценки остаточного ресурса на основе обобщенного показателя конструктивной безопасности – индекса надежности. Доказана принципиальная возможность применения метода активного теплового неразрушающего контроля для обследования, предложена методика выполнения поиска несовершенств с порядком основных операций. Расширена таблица несовершенств стальных конструкций. Предложено три технических состояния: «удовлетворительное», «состояние, требующее ремонта», «аварийное». Рассчитано количественное значение уровней индекса надежности для каждого из состояний. Предложен алгоритм расчета остаточного ресурса на основе индекса надежности. Сформирована номенклатура показателей, характеризующих эффективность функционирования служб технической эксплуатации, определены их уровни. Введен индекс организационно-технической безопасности. Предоставлена методология качественного и количественного расчета риска эксплуатации с неопределенными во время обследования несовершенствами. Предложена процедура расчета технологической безопасности с учетом конструктивной и организационно-технической безопасности по показателям соответствующих индексов в границах остаточного ресурса с определенным риском дальнейшей эксплуатации. Предложены мероприятия повышения уровня технологической безопасности.

Ключевые слова: безопасность, строительные стальные конструкции, дефекты, остаточный ресурс, индекс надежности, надежность, обследование, повреждения, ресурс, риск эксплуатации, техническое состояние, технологическая безопасность.

ABSTRACT

Kolesnichenko S.V. Technological safety of building steel structures. – Manuscript. Thesis for Doctor of Technical Sciences degree. Specialty 05.23.01 – building construction, buildings and structures. The institution of a thesis defense is Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture – Odesa, 2020.

The dissertation is dedicated to elaboration of theoretical backgrounds for criteria evidence of steel structures technological safety that operating with long-term

conditions with technical conditions definitions and residual life calculation on the basis of standard reliability indexes and future operation risks definitions.

The object of investigation is building steel structures of industrial and civil construction entity, which are under long-term operation under of its project resource or very close to its depletion. The main tasks of this investigation are: the elaborating of residual life's assessment methods on the basis of standard reliability indexes with the taking into account of hypothetical (non-defined) defects or imperfections; elaboration of engineering effective calculation method of safety's factors for future safety operation of building steel structures under design life exhaustion with the possible risks of future safe operation.

During the investigation tasks' solution, there were results achieved, the scientific novelty of which consists of a proposed list of diagnostic and resource parameters of steel structures, also for those which are under dynamic loading; the mathematic model elaboration of residual life calculation for steel structures on the basis of integral index – the reliability index; the methodology of steel structures diagnostics which are under operation after the design life's limit and taking in consideration the real conditions with the dynamic loading.

Build on the aim and the mission, the tasks of the scientific investigation were defined, for existence reliability's problem and safety operation for steel structures with possible risk the related works were fulfilled. The problems of methods and procedures of technical investigation for structures' technical conditions and residual life assessment were also analyzed. The general characteristics of Ukrainian steel structures stock were characterized and on the basis of it, were defined that the greatest number of accidents are due to mistakes of the responsible persons – technical stuff and contravention of actual demands of standards related with buildings and structures technical operation. For all life cycles of structures, the resources and residual life calculation methods were studied together with the risk assessment approaches for building objects.

On the basis of evaluation of indicators' groups for safety technical operation of buildings and structures, the structural and organizing-technical safety indexes proposed to use as general for technological safety, taking into consideration the fact of its determination on the basis of technical investigations results.

The actual standard table of steel structures imperfections has analyzed. On the example of experimental and theoretical investigations of stress concentration factors of trusses with H-beams and RHS-members, this table has improved. All imperfection proposed to be divided into two directions: as diagnostics and as resources, also recommended to use special mark for imperfections which are dangerous for structures under dynamic loading. For the possibility to use this table with the mathematic algorithms for future automatic calculations, the compulsory introduction of three imperfections categories “A”, “B” and “B” for all types of imperfections with its fixed parameters must be done.

As a result of technical inspection, the conclusions of structure's technical state should be determined. Instead of actual four types of technical states, proposed to fix three: “satisfactory”, the technical state, which “needs of structure repair” and

“accidental”. For each technical state, the quantitative ranges of safety indexes for steel structures have determined.

The typical groups of situations for prediction of residual life of steel structure as fully renewed, partially renewed and non-renewed have characterized. The algorithm of residual life calculation with the safety index, based on technical state parameters that determine on the inspection results is also proposed. The peculiarities of safety index determination for the structures under the dynamic loading are defined.

Disadvantageous features of building technical operation services are estimated, the quantitative and qualities structure for it are proposed. As one of the technological safety component part that defines by the measures of the operation and maintenance the index of organizing-technical safety is calculated. The list of important items that characterized efficient work for technical operation services is turned out. The rates and limits for these items have defined. On the results of technical investigations for civil and industrial buildings, the quantitative values for this index have proposed which intended to be used when technical states will define.

The methodology of numerical and qualities structural safety risk assessment with the determined residual life have done; it is considering the determined and non-determined defects and damages – the risk of future operation. The different situations of presence and absence for the imperfections, its determination or non-determination during technical inspection for actual and previous inspection and time between inspection have analyzed. For structures with critical imperfections’ parameters, the global and local damages propagation up to accident has taken. The procedure of calculation for the time assignment of future technical investigation with the existent risk of detected and non-detected imperfections has elaborated. This time defines as multiplication of probability of non-detected existence imperfections by the residual life what was previously calculated.

The technological safety proposed as a general safety criterion for future structure operation after it design resource terminated. The task of technical state assessment the mostly related with safety index within the residual life duration with the acceptance level of future possible risk, that depends of detected and non-detected imperfections, based on diagnostic and resource technical state’s parameters and considering organizing-technical safety.

For improvement of technical investigation works, the structure and methodology of enterprise’s technological safety standard (managing document) proposed as an instrument for steel structure’s residual life controlling during its maintenance. This document proposed to be as a main standing order for technical services enterprise departments. The methodology, algorithm and structure for electronic database of structures technical state are proposed.

Key words: safety, building steel structures, defects, residual life, reliability index, reliability, technical investigation, imperfection, resource, operation risk, technical state, technological safety.

Підписано до друку 19.02.2020 р.
Формат 60 X 84/16 Папір офісний Гарнітура Times
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 2,27.
Наклад 100 прим. Зам. №20-21Е

Видавець і виготовлювач:
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.
тел.: (048) 729-85-34, e-mail: rio@ogasa.org.ua

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА