

**ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

**ЄРМАК ЄВГЕН МИХАЙЛОВИЧ**

УДК 624.042; 624.014

**ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ  
ТА КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ПОДОВЖЕННЯ СТРОКІВ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

МАКІЇВКА – 2003

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України (м. Харків).

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор **Горохов Євген Васильович**, Донбаська державна академія будівництва та архітектури, ректор, завідувач кафедрою металевих конструкцій.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор **Гордєєв Вадим Миколайович**, ВАТ “УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського”, перший замішувач голови правління;

доктор технічних наук, професор **Пічугін Сергій Федорович**, Полтавський державний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, завідувач кафедрою конструкцій з металу, дерева та пластмас;

доктор технічних наук, професор **Мущанов Володимир Пилипович**, Донбаська державна академія будівництва та архітектури, проректор, завідувач кафедрою теоретичної та прикладної механіки.

**Провідна установа:** Одеська державна академія будівництва та архітектури, кафедра металевих та дерев’яних конструкцій (м. Одеса).

Захист дисертації відбудеться “26” червня 2003 року о 10<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.085.01. в Донбаській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2, І корпус, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Донбаської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2, І корпус.

Автореферат розісланий “23” травня 2003 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради, кандидат  
технічних наук, доцент

А.М. Югов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дисертації.** Конструкції промислових будівель, обладнаних мостовими кранами, складають значну частину українського фонду будівельних металоконструкцій.

Більшість цих споруд побудовано більш ніж 30 років тому. Останнім часом від недогляду та з відомих причин економічного характеру темпи зносу металоконструкцій, які експлуатуються, прогресують, збільшилося число аварій, багато цехів потребують реконструкції з причин моральної амортизації.

Зазначені обставини призвели до необхідності віднести проблему забезпечення безпечної експлуатації та подовження ресурсу промислових будівель до числа важливих державних проблем.

Цю дисертаційну роботу присвячено дослідженню та вирішенню науково-технічних задач за двома відповідальними напрямками цієї багатопланової проблеми:

- ↯ розрахункова оцінка технічного стану споруд, що експлуатуються;
- ↯ розробка перспективних пропозицій для вдосконалення конструкцій виробничих будівель з врахуванням потрібних умов технічного утримання, ремонтпридатності, довговічності.

Перший зі вказаних напрямків розвивається шляхом уточнення розрахунків. Якщо враховувати, що проектування більшості промислових будівель, що експлуатуються, виконувалось на основі достатньо умовних припущень, актуальною є задача виявлення та усунення протиріч між проектними розрахунковими схемами та фактичною роботою конструкцій, тобто задача формування адекватних розрахункових моделей.

Уточнення умов дійсної роботи реалізованих конструкцій та визначення параметрів адекватних розрахункових моделей часто пов'язані з необхідністю проведення спеціальних натурних експериментів та розробкою відповідної теоретичної та методичної бази. Результати таких випробувань, які виконувалися під керівництвом автора на різних об'єктах України та Росії, складають значну частину дисертаційної роботи.

Напрямок досліджень, що присвячені внесенню та обґрунтуванню раціональних змін в конструктивну форму елементів каркаса промислових будівель - для економії сталі, зниження імовірності пошкоджень та покращення умов технічного утримання, - також є актуальним для вирішення даної проблеми. Особливу увагу в дисертації присвячено питанням підсилення та модернізації елементів та з'єднань, які знаходяться в зоні безпосереднього впливу важких та динамічних, вертикально діючих та бічних кранових навантажень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема та зміст дисертації пов'язані з виконанням:

- ↯ плану роботи секції "Будівельні металеві конструкції" науково-координаційної Ради з питань ресурсу та безпечної експлуатації конструкцій, споруд та машин при президії НАН України;

галузевої науково-технічної програми 0.55.01.121 Держбуду (колишнього СРСР) “Разработать и внедрить прогрессивные способы строительного обеспечения реконструкции и технического перевооружения промышленных предприятий, сокращающие сроки ввода мощностей, стоимость строительно-монтажных работ за счет максимального использования конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений”.

Завдання та етапи на 1986-90 рр.

С21а6. Провести научно-исследовательские работы и разработать предложения по оценке состояния металлических конструкций (к главе СНиП  $\Rightarrow\Rightarrow$ -23-81);

О2.01.16 пп. Разработать предложения по выбору параметров активного регулирования усилий в металлоконструкциях эксплуатируемых зданий и сооружений с применением дополнительных затяжек;

Автор був науковим керівником та відповідальним виконавцем вказаних науково-дослідницьких робіт, що мають номери держреєстрації 79041199, Б983267, 02840000294, 01860026078, 01880005177, 01860026084, 01910029753.

**Мета роботи** є підлеглою вирішенню актуальної проблеми подовження технічного ресурсу конструкцій промислових будівель шляхом уточнення розрахункової оцінки їхнього роботоспроможного стану та модернізації для умов довготривалої безвідмовної роботи.

#### **Задачі досліджень:**

- теоретичне та експериментальне вивчення дійсної роботи та причин характерних пошкоджень конструкцій цехів, що експлуатуються, виявлення неточностей проектних розрахункових схем та недоліків конструктивних рішень, що традиційно застосовуються;
- формування варіантів адекватних розрахункових моделей каркасів та виробничих будівель;
- постановка чисельних та натурних експериментів для обґрунтування прийнятної точності вказаних моделей, для уточнення схематизації елементів та вузлів, для аналізу впливу різних елементів та зв'язків на роботу та можливість підсилення основних конструкцій каркаса;
- розробка конструктивних заходів для подовження строків зносу та моральної амортизації кранових та підкранових конструкцій шляхом обмеження перекосів мостових кранів та створення початкових зусиль, що розвантажують колони каркаса від вигину вертикальними крановими навантаженнями;
- розробка пропозицій для проектування економічних конструкцій промислових будівель, що пристосовані до умов довготривалої експлуатації та можливої реконструкції, з використанням принципів спрощення конструктивної форми, розділення функцій елементів каркаса та управління їхнім напружено-деформованим станом;

- впровадження результатів досліджень та розробок, що наведені в дисертації, для оцінки і відновлення роботоспроможного стану конструкцій та вирішення задач реконструкції промислових будівель зі сталевим каркасом.

**Об'єкт дослідження** - сталеві конструкції одноповерхових промислових будівель, обладнаних мостовими кранами.

**Предметом дослідження** є: дійсна робота конструкцій цехів, що експлуатуються, розрахункові моделі для оцінки їхньої фактичної несучої спроможності, способи підсилення та модернізації цих конструкцій для збільшення строків експлуатації.

**Методи дослідження:**

↯ методи математичного моделювання - для формування, аналізу та синтезу розрахункових моделей конструкцій “кранових” цехів за критерієм відповідності дійсній роботі цих конструкцій;

↯ методи будівельної та теоретичної механіки - для аналізу зусиль, напружень та деформацій кранових та підкранових конструкцій на різних варіантах розрахункових моделей; для аналізу руху мостового крана з перекосами та теоретичного визначення відповідних бічних сил;

↯ методи експериментального дослідження роботи конструкцій промислових будівель в натурних умовах;

↯ методи математичної статистики - для обґрунтування достовірності результатів натурних випробувань конструкцій з врахуванням імовірної змінності параметрів розподілу зусиль.

**Наукову новизну отриманих результатів становлять:**

↯ розрахункова модель поперечних конструкцій каркасів у вигляді комбінованої системи з пружними шарнірно-стержневими зв'язками, яка адекватно враховує просторовий характер роботи цих конструкцій при локальних впливах, та пружність вузлових з'єднань; яка обґрунтовано прийнятна за точністю розрахунків; яка універсально формується, стосовно різноманітних компоновальних та конструктивних рішень каркасів;

↯ експериментально-теоретичні методи визначення пружних характеристик вузлів спряження та спирання елементів каркаса;

↯ “ефект опорного перерізу” нерозрізної підкранової естакади, котрий проявляється в згинально-скручувальних деформаціях балки та колони в вузлі їхнього спряження та відповідних напруженнях несподівано високого рівня, які необхідно враховувати під час оцінки роботоспроможності таких конструкцій;

↯ метод обмеження перекосів мостових кранів під час руху - для підвищення довговічності кранових та підкранових конструкцій та покращення динамічних характеристик системи “кран-каркас”; постановка та вирішення задачі про раціональні параметри налагодження протиперекісних пристроїв;

↯ метод підсилення колон сталевих каркаса промислових будівель шляхом створення початкових зусиль, зворотних, за знаком, згинальним моментам від кранового навантаження;

↯ нова конструкція сталевої колони зі зворотним зв'язком, який авторегулюється, стосовно до навантаження від тиску кранового поїзда;

↯ вдосконалена конструктивна схема каркаса виробничих будівель з частковим розділенням функцій несучих елементів та подвійною адаптацією до основних технологічних (кранових) впливів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Використання принципів формування варіантів розрахункових моделей каркаса промислових будівель у вигляді плоских або просторових комбінованих систем з пружними зв'язками, а також методів визначення розрахункових параметрів пружних зв'язків дає можливість вирішувати цю відповідальну задачу на основі єдиного підходу, з достатньою точністю, та проектувати, при необхідності, підсилення конструкцій, що експлуатуються, зміною кількості або регулюванням жорсткості поздовжніх “дисків” каркаса.

Виявлення та обґрунтування закономірності “ефекту опорного перерізу” нерозрізної підкранової естакади, близької за конструкцією вузлів та роботою до рамної системи, дозволяє враховувати, на етапі оцінки роботоспроможності споруди, яка експлуатується, більш небезпечний напружений стан, ніж це прогнозувалося під час проектування.

Установка між ходовою частиною мостових кранів та підкрановими конструкціями пружних протиперекісних пристроїв (стабілізаторів) є ефективним способом покращення умов експлуатації та подовження строків безремонтної роботи.

Підсилення сталевих колон створенням початкових зусиль, що розвантажують стержень колони від вигину позацентровими крановими навантаженнями, є раціональним методом збільшення вантажопідйомності внутрішньоцехової підкранової естакади для цілей реконструкції.

Пропозиції для вдосконалення конструктивної схеми та конструкцій каркаса промислових будівель дають можливість покращити, у порівнянні до рішень, які застосовуються традиційно, економічні та експлуатаційні показники щодо витрати сталі, умов технічного нагляду, ремонтпридатності, довговічності.

**Запровадження результатів роботи.** Результати досліджень, що стосуються методичних питань проведення натурних експериментів, включено до матеріалів Державного стандарту України ДСТУ Б В.2.6-10-96 “Конструкції сталеві будівельні. Методи випробувань навантаженням”.

Сформовані автором розрахункові моделі поперечних та нерозрізних поздовжніх конструкцій каркаса включено до інформаційно-експертної системи, що була розроблена для технічної експлуатації Великого високовольтного зала (м. Запоріжжя) - унікального великопрольотного та висотного “кранового” цеха.

Пропозиція про обмеження перекосів мостових кранів шляхом установки та налагодження стабілізуючих приладів була реалізована на ДП “Завод ім. Малишева” (м. Харків).

Методи визначення фактичної жорсткості вузлів спряження та спирання елементів сталевих каркасів реалізовані під час робіт з обстеження технічного стану конструкцій промислових будівель на підприємствах України та Росії: “Турбоатом” (м. Харків), “Запоріжтрансформатор” (м. Запоріжжя), Тирнауський металургійний комбінат (Кабардино-Балкарія).

Рекомендації для врахування на адекватних розрахункових моделях елементів, що створюють або збільшують ефект нерозрізності, використовувались при рішенні задач забезпечення безвідмовності та відновлення після аварійної відмови конструкцій сталеливарного цеха Придніпровського заводу стрілочних переводів (м. Дніпропетровськ).

Матеріали досліджень опубліковано в навчальних посібниках до вивчення курсу “Металеві конструкції” для студентів ВУЗів спеціальності “Промислове та цивільне будівництво”.

**Особистий внесок здобувача.** За темою дисертації автором опубліковано 27 робіт. Особисто здобувачем, без співавторів, опубліковано в спеціальних наукових виданнях та в матеріалах міжнародних конференцій 17 робіт (публікації тезисів доповідей не враховані).

Конкретно, особистий внесок автора в сумісно підготованих публікаціях та винаходах такий:

- ⌘ формування уточненої розрахункової моделі поперечних конструкцій “кранових” цехів, що знаходяться в експлуатації, у вигляді комбінованої системи з пружними стержневими зв’язками; обґрунтування достатньої точності та раціональності цієї моделі; розробка методів визначення розрахункових характеристик “зовнішніх” та “внутрішніх” пружних зв’язків;

- ⌘ виявлення та аналіз ефектів розвантаження або перенапруження елементів каркаса, пов’язаних з явною чи неявною нерозрізністю кроквяних та підкранових конструкцій;

- ⌘ постановка та вирішення задачі про оптимальне співвідношення характеристик згинальної жорсткості підкранового та надкранового елементів колон для проектування сталевих каркасів “кранових” цехів;

- ⌘ розробка способу підсилення сталевих підкранових колон шляхом створення початкових зусиль, що розвантажують її від вигину крановими навантаженнями; проектування конструкцій попередньо напруженої колони;

- ⌘ постановка та аналіз результатів всіх натурних та чисельних експериментів;

- ⌘ розробка ідеї про обмеження перекосів мостових кранів як способу зниження пошкоджуваності кранових та підкранових конструкцій; участь в розробці конструкцій протиперекісних пружних пристроїв (стабілізаторів); розвиток метода розрахунку бічних сил при перекосах мостових кранів, обладнаних стабілізаторами; постановка задачі про оптимальне налагодження стабілізаторів для мінімізації бічних сил і покращення динамічних характеристик системи “кран-каркас”.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати дисертації доповідалися на:

- міжнародних конференціях та симпозіумах: “Підвищення довговічності будівельних конструкцій залізничного транспорту” (Москва, 1992 р.); “Ресурсозберігаючі технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій” (Білгород, 1993 р.); “Дослідження та будівництво в екстремальних умовах” (Москва, 1996 р.); “Металобудівництво - 96. Стан та перспективи розвитку” (Донецьк-Макіївка, 1996 р.); “Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини” (Одеса, 1997 р.); “Теорія та практика металевих конструкцій” (Донецьк-Макіївка, 1997 р.); “Надійність і безпека будівель та споруд в умовах особливих впливів” (Санкт-Петербург, 2001 р.);

↯ всесоюзних (СРСР) конференціях: “Проблеми оптимізації та надійності в будівельній механіці” (Вільнюс, 1983 р.); “Індустріальні технічні рішення для реконструкції будівель та споруд промислових підприємств” (Донецьк-Макіївка, 1986 р.);

↯ Українських республіканських та державних конференціях з металевих конструкцій (Дніпропетровськ, 1973 р.; Маріуполь, 1978 р.; Житомир, 1984 р.; Симферопіль, 1988 р.; Київ, 1992 р.);

↯ регіональних тематичних конференціях та семінарах: “Питання оптимізації під час розрахунку та проектування металевих конструкцій” (Свердловськ, 1981 р.); “Питання проектування та експлуатації ліхтарів промислових будівель” (Магнітогорськ, 1993 р.);

↯ науково-практичних конференціях ХІІТу - ХарДАЗТ 1971-2001 рр.

В повному обсязі закінчена дисертаційна робота доповідалася: на розширеному засіданні науково-технічної ради Українського науково-дослідницького проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М.Шимановського (травень 2002 р.); на розширеному засіданні кафедри “Будівельні матеріали, конструкції та споруди” Української державної академії залізничного транспорту (грудень 2002 р.); на розширеному засіданні семінару кафедри металевих конструкцій Донбаської академії будівництва та архітектури (січень 2003 р.); на засіданні Асоціації кафедр металевих конструкцій ВУЗів СНД (Київ, квітень 2003 р.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації опубліковано в монографії, наукових журналах та збірниках наукових праць (19 публікацій), матеріалах та тезисах наукових конференцій (15 публікацій), авторських свідоцтвах (5).

**Структура та об’єм дисертації.** Дисертація складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків.

Дисертацію викладено на 308 аркушах, в тому числі 298 аркушів основного тексту, 20 аркушів списку літератури (193 найменувань), 114 повних аркушів з рисунками та таблицями, 9 аркушів додатків.



## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** викладено загальну характеристику роботи; названо актуальні задачі, з вирішенням яких пов'язане досягнення мети дослідження; перераховано нові результати, які вдалося отримати, відомості про впровадження цих результатів, відомості про виступи автора роботи перед науковим суспільством та публікації, відомості про структуру та об'єм дисертації.

**В першому розділі** виконано короткий аналіз розвитку конструктивних форм та методів розрахунку, які застосовуються при створенні промислових будівель, що знаходяться в експлуатації та обладнані мостовими кранами. Наведено приклади характерних пошкоджень елементів таких цехів від силових впливів, котрі свідчать про недоліки конструктивних рішень та розрахункових схем проектування. Виконано також аналітичний огляд наукових праць, що визначають розвиток та вдосконалення розрахункових моделей, вивчення та обґрунтування розрахункових величин кранових впливів на конструкції промислових будівель.

Дані про структуру та технічний стан Українського фонду металокопункцій, що експлуатуються, містяться в роботах В.М.Гордєєва, Є.В.Горохова, В.П.Корольова, М.О.Микитаренка, О.І.Оглоблі, А.В.Перельмутера, В.М.Шимановського, О.В.Шимановського, А.М.Югова.

Задачам та заходам зі збереження основних фондів та реконструкції об'єктів будівництва присвячено також праці Д.Ф.Гончаренка, Ю.А.Зданевича, М.П.Мельникова, Г.А.Молодченка, В.П.Мущанова, В.О.Пермякова, М.М.Сахновського, О.Л.Шагіна, С.М.Шаповалова та ін.

Для оцінки технічного стану конструкцій, що експлуатуються, повинна бути забезпечена точність перевірочних розрахунків, близька до параметрів дійсного стану цих конструкцій, що потребує уточнення передумов проектування, перед усім, стосовно схематизації розрахункової моделі.

Історію розвитку розрахункових передумов для аналізу роботоспроможності сталевих конструкцій виробничих будівель можна простежити по роботах Є.І.Беленя, Г.І.Білого, М.М.Бердичевського, С.О.Бернштейна, О.М.Генієва, М.С.Стрелецького, J.F.Baker, М.Зібелінга та ін.

Результати експериментально-теоретичного вивчення дійсної роботи металокопункцій виробничих будівель, що мають значення для оцінки роботоспроможності таких споруд, викладено в працях В.В.Горєва, В.В.Зверєва, О.І.Кікіна, В.С.Казарновського, І.В.Левітанського, Ю.Р.Томлінга, Г.О.Шапіро та ін.

Принципи формування розрахункових моделей, що адекватно враховують дійсні умови роботи будівельних конструкцій, обговорювалися в публікаціях досліджень Н.П.Абовського,

І.І.Гольденבלата, В.В.Кулябко, В.М.Мастаченка, А.В.Перельмутера, В.І.Слівкера, В.І.Феодос'єва та ін. Моделювання роботи системи мостовий кран — підкранова колія запропоновано М.А.Лобовим.

Питання вдосконалення розрахунків споруд на стадії експлуатації з застосуванням методів теорії надійності розроблювались в працях В.В.Болотіна, А.Я.Барашикова, Ю.А.Павлова, С.Ф.Пічугіна, А.Р.Ржаніцина, Ю.І.Тетеріна, В.П.Чіркова та ін.

Зокрема, доцільним є імовірно-статистичний підхід до визначення характеристик фактичної піддатливості вузлових та опорних зв'язків сталевого каркаса. Такий висновок може бути обґрунтований аналізом робіт В.М.Альохіна, Є.І.Беленя, І.М.Лебедіча, А.Б.Ренського, М.Н.Аскройд, Р.М.Беннетт, Р.Е.Мелчерс, G.Z.Tucker та ін.

Важливе значення для об'єктивної оцінки надійності будівельних споруд мають результати уточнення імовірних величин тимчасових навантажень. Істотний внесок в цю проблему зроблений працями М.І.Казакевича, Р.І.Кінаша, Б.М.Кошутіна, В.О.Отставнова, В.О.Пашинського, А.Я.Пріцкера, Б.Ю.Уварова та ін.

Найбільш складними для обґрунтування розрахункових величин є горизонтальні впливи (бічні сили) на каркас виробничих будівель від мостових кранів. Вивченню таких навантажень експериментальним шляхом в натурі та на моделях присвячено роботи В.П.Балашова, Є.В.Горохова, І.В.Ізосимова, С.Ф.Пічугіна, І.Р.Руховича, О.В.Фігаровського, G.Bierett та ін.

Вивчення дійсної роботи та причин передчасного зносу промислових будівель (за даними А.І.Конакова, Ю.С.Еглескална та ін.) дає основу для критичного відношення до традиційно застосованої конструктивної схеми каркаса та конструктивної форми декотрих його елементів (М.С.Стрілецький, К.А.Шишов, В.Ф.Сабуров та ін.), а також – продовження досліджень питань раціонального підсилення та вдосконалення цих конструкцій для зручності технічного нагляду, ремонтпридатності та подовження безпечної роботи. Як найбільш перспективні розглядаються методи, засновані на регулюванні та авторегулюванні напружено-деформованого стану елементів (пропозиції В.В.Бірюльова, В.Г.Богзи, Ю.В.Гайдарова, О.С.Городецького, Л.В.Єнджиєвського, М.М.Лашенка, В.С.Шмуклера, М.І.Балас, G.Rozvany та ін.) та вирішенні задач оптимального проектування, що мають особливе значення для обґрунтування ефективності модернізованих конструкцій (праці О.І.Виноградова, В.М.Гордєєва, Я.М.Ліхтарникова, Я.І.Олькова, В.О.Пермякова, В.В.Трофимовича, І.С.Холопова та ін.).

На основі проведеного аналізу визначено задачі дисертаційної роботи.

Структурно-логічну схему поставлених та вирішених в даному дослідженні задач показано на рис. 1.

**Другий розділ** присвячено постановці задачі формування адекватних розрахункових моделей каркаса цехів, що експлуатуються, та обґрунтуванню необхідних уточнень, котрі слід зробити для наближення цих моделей до дійсної роботи конструкцій.

Вибір раціонального варіанта розрахункової моделі, як відомо, є задачею синтезу за критерієм точності розрахунків, близької до параметрів фактичної роботи конструкцій, які встановлюють за експериментальними даними.

Адекватна розрахункова модель формується, в загальному випадку, шляхом послідовних уточнень - або поетапним ускладненням вихідної спрощеної (при проектуванні) схеми, або поетапним спрощенням повної схеми каркаса. Уточнюючі зміни вносяться на основі нових даних про дійсну роботу та технічний стан конструкцій, що експлуатуються, а також – на основі результатів чисельних експериментів.

Розглянуто наступні задачі уточнень:

- ↯ схематизації топології розрахункової системи таким чином, щоб врахувати всі елементи та зв'язки, які істотно впливають на розподіл зусиль та деформації конструкцій, що моделюються;

- ↯ схематизації елементів, з врахуванням їх фактичного конструктивного оформлення, та визначення їх розрахункових параметрів, з урахуванням дефектів та пошкоджень;

- ↯ моделювання вузлів з урахуванням фактичної пружної піддатливості.

При формуванні адекватних розрахункових моделей із вказаними уточненнями враховувалося, що:

- ↯ можливості сучасного програмного забезпечення для ЕОМ, розробленого в Україні, дозволяють розраховувати стержневі системи будь-якої складності;

- ↯ реалізація ідеї уточнення за рахунок врахування великої кількості елементів не є доцільною, якщо користуватися не реальними, а ідеалізованими характеристиками, так як при великій розмірності задачі, в такій постановці, похибка розрахунків буде збільшуватися;

- ↯ для більшості цехів, що експлуатуються, застосовано конструктивну схему каркаса, засновану на реалізації принципу концентрації матеріалу, тому рішення вказаних задач уточнення проводилось шляхом вдосконалення схематизацій, які використовуються традиційно, – підсистем поперечних та поздовжніх конструкцій каркаса; такий підхід дозволяє докладно врахувати індивідуальні особливості та реальні умови роботи цих конструкцій, а також – ті наробітки попереднього покоління вчених та інженерів, які зберігають своє значення при розгляданні питання з сучасних позицій;

- ↯ до побудови просторових розрахункових моделей різної складності необхідно звертатися у випадках аналізу багатозв'язкової конструктивної схеми, врахування локальних впливів на значну частину каркаса, а також – у випадках застосування нерозрізної або рамної внутрішньоцехової підкранової естакади, коли врахування сумісної роботи поперечних та поздовжніх конструкцій потрібне – або за критерієм виявлення максимальних напружень (розділ 5), або за критерієм раціонального управління напружено-деформованим станом (розділ 7 дисертації).

На першому етапі уточнень вихідної розрахункової схеми поперечних конструкцій каркаса (рис. 2А) робиться додаткове врахування елементів та параметрів системи, що істотно впливають на її роботу в своїй

площині. Прикладами з практики обстеження споруд та відповідними розрахунками показано, що, при формуванні адекватних моделей потрібно враховувати:

↯ фактичне конструктивне оформлення гратчастих елементів схематизацією їх плоскими фермами з нерозрізними поясами (рис. 2Б); таке уточнення виявляє, у порівнянні з відомою методикою поетапного розрахунку з використанням вихідної схеми (рис. 2А), різницю в величинах зусиль до 10 – 20 %, причому, через таку похибку можливе перенапруження відповідальних елементів – поясів ригеля та підкранових віток колон;

↯ сумісну роботу кроквяних конструкцій з ліхтарними фермами, котрі, для будівель колишнього (30 років та більше) проектування, мають значні розміри та жорсткість елементів; наведені результати розрахунків статично невизначених (з урахуванням нерозрізності поясів) кроквяно-ліхтарних систем підтверджують перерозподіл зусиль (у порівнянні з вихідними проектними схемами) з довантаженням та небезпечною зміною знака зусиль, в одних випадках, та резервуванням несучої спроможності з забезпеченням “живучості” конструкцій в аварійних ситуаціях – в інших;

↯ роботу неврахованих при проектуванні елементів та зв’язків, що створюють часткову нерозрізність та розпорність кроквяних ферм, що призводить до стискання та викривлення приопорних панелей нижніх поясів (ліхтарних ферм, розташованих над середніми опорами кроквяних конструкцій; зв’язків, що моделюють конструктивне замикання верхніх поясів цих конструкцій покрівельним диском; зв’язків та елементів будівлі, що збільшують горизонтальну жорсткість каркаса в рівні нижніх поясів кроквяних ферм; монтажних зв’язків, не усунених після закінчення робіт та ін.);

↯ піддатливість зв’язків, що моделюють малу жорсткість з’єднань, у тому числі – фактичну піддатливість вузлових та опорних кріплень елементів каркаса, котрі запропоновано моделювати пружними шарнірно-стержневими зв’язками одиничної довжини (елементи 7 та 8 на рис. 2Б) та визначати осьову жорсткість цих зв’язків за результатами натурних випробувань (розділ 4 дисертації).

**Третій розділ** присвячений моделюванню конструкцій каркаса промислових будівель для розрахунку на локальні впливи (навантаження від мостових та підвісних кранів, перевантаження ділянок покриття та перекриттів, деформації основи та ін.) В таких випадках адекватна розрахункова модель доповнюється пружними зв’язками (рис. 2Б), котрі інтегрально враховують вплив на роботу локально завантаженої пласкої підсистеми решти елементів каркаса, що не представлені на схемі в явному вигляді.

На розрахунковій комбінованій системі (КС) поперечних конструкцій каркаса (рис. 2Б) вказані пружні зв’язки розташовано у відповідності з відомим припущенням, що ефект її просторової роботи в системі каркаса забезпечується т.зв. “поздовжніми дисками” - покрівельним (1), зв’язковими (3), підкроквяними, кроквяними (в поздовжньому напрямку будівлі) та ліхтарними фермами (2), підкраново-гальмівними (4 та 5), дисками перекриттів (6) та ін. На відміну від вихідної проектної схематизації (рис. 2А) з усіма уточненнями, котрі були внесені, починаючи з 40-х років, дана розрахункова модель враховує будь-яке число та розташування поздовжніх дисків, дозволяє розраховувати нерегулярні схеми каркаса (різна висота прольотів, різний крок колон та ін.) на різні, а не тільки кранові, локальні впливи.

Враховуючи стержневе моделювання пружних зв'язків, можна обійтися без складання матриці піддатливостей, та використовувати для розрахунку даної системи готове програмне забезпечення (“Ліра”, “Скад”), при наявності, в числі вихідних даних, величин осьової жорсткості пружних зв'язків.

В загальному випадку, ці характеристики визначаються з умови сумісності деформацій таких зв'язків та відповідних поздовжніх дисків в вузлах їх кріплення до поперечних рам – від одиничної сили.

Якщо поздовжній диск розглядати як нерозрізну балку, то використовується формула:

$$EA_{зб} = \frac{\bar{P} \bar{I}_{зб}}{\Delta^u}, \quad (1)$$

за умови, що потрібно зробити додатковий розрахунок величини зсуву пружної опори цієї балки  $\Delta^u$  від  $\bar{P}$ .

Якщо відома жорсткість поздовжнього диска на зсув, то можна користуватися формулою:

$$EA_{зб} = \frac{G A_{\Delta} \bar{I}_{зб}}{a}, \quad (2)$$

котра виведена при припущеннях, що зсув диска відбувається в площині локально завантаженої поперечної рами, що він однаковий на всій ширині диска та що для даного випадку є справедливим закон Гука при зсуві. В цій формулі  $a$  – крок поперечних рам.

Для типових конструкцій горизонтально розташованих поздовжніх дисків складено таблицю характеристик жорсткості відповідних пружних зв'язків (табл. 1), котра може бути використана при складанні адекватних розрахункових моделей.

Рациональність запропонованої розрахункової моделі (КС) обґрунтовано шляхом порівняння її за точністю результатів розрахунків зусиль та деформацій від різних локальних впливів з просторовою моделлю ПС (рис. 3). Адекватність її перевірена результатами натурних випробувань об'єкта розрахунку – сталевій колони каркаса цеха. Вказані результати (ІК) – зусилля, по показаннях електричних та механічних тензометрів, від вертикального кранового навантаження – представлені на рис. 4.

Таблиця 1

### Жорсткості пружних зв'язків

№№ зв'язків	Конструкція поздовжнього диска	Крок поперечних рам, м	$EA_{зб}$ , кН

1	Збірні залізобетонні плити 3,0×12,0 м	12,0	30000
1	Збірні залізобетонні плити 1,5×6,0 м	12,0	21000
1	Дрібнорозмірні (0,5×1,5 м) збірні залізобетонні плити по прогонах.	6,0	15000
1	Сталевий профільований настил по прогонах, з кріпленням в кожній хвилі.	12,0	5500
1	Сталевий профільований настил по прогонах, з кріпленням через хвилю.	12,0	300
3	Зв'язки по нижніх поясах кроквяних ферм, хрестові, з кутків. Кріплення на зварюванні.	12,0	1500
4	Гальмівні балки (сталевий лист - 1000×7 мм). Кріплення на зварюванні.	12,0	3000
4	Гальмівні ферми ( $h_{cp} = 1,2$ м). Кріплення на зварюванні.	12,0	2000

Показано, що розрахункова модель КС з пружними зв'язками є зручною для вирішення задач синтезу, що вимагають аналізу великого об'єму розрахункової інформації, наприклад:

↯ дослідження впливу та значимості різних поздовжніх дисків на розподіл зусиль та величини деформацій поперечних конструкцій каркаса;  
оптимізація параметрів розрахункової підсистеми;

↯ варіантне проектування конструктивних схем каркасів.

Для вирішення першої із вказаних задач в дисертації поставлені чисельні експерименти на об'єктах з різними розмірами та конструктивними рішеннями елементів каркаса. Для визначення зусиль та пересувань використовувалися варіанти розрахункових моделей, похідних від базової (рис. 2Б), з послідовним включенням пружних зв'язків в різних рівнях, тобто перший варіант моделі взагалі їх не мав, а останній – мав повний набір (1-6). Результати цих розрахунків показали, що регулюванням кількості та жорсткості поздовжніх дисків можна підсилувати поперечні конструкції каркаса, наприклад, при збільшенні технологічних навантажень жорсткість таких зв'язків потрібно збільшувати, а при нерівномірних осадках опор – “виключати” їх з роботи або зменшувати жорсткість “абсолютно необхідних” зв'язків.

Розрахунки підтвердили відомі висновки про те, що врахування ефекту просторової роботи значно підвищує горизонтальну жорсткість поперечних конструкцій каркаса та розвантажує від вигину опорні перерізи колон, особливо при горизонтальних локальних впливах. Це, в свою чергу, дозволяє критично переглянути відомі рекомендації для проектування:

↯ про доцільність застосування „жорстких” вузлів спряження ригелів та колон поперечних рам;

↯ про раціональне співвідношення характеристик згинальної жорсткості підкранових та надкранових ділянок ступінчатих колон каркаса промислових будівель.

З врахуванням останнього, було поставлено та вирішено задачу оптимізації цього співвідношення, що має значення для попереднього призначення параметрів статично невизначеної системи КС (або іншого, наприклад, просторового, варіанта розрахункової моделі).

Оптимальне рішення, згідно класичній постановці задачі за О.І.Виноградовим, визначене при розгляданні багатьох систем с заданим обрисом осей, а математично, як звичайно, визначалось мінімальне значення цільової функції при обмеженнях на параметри системи та параметри стану. Зусилля від кранових навантажень визначалися на розрахунковій системі з пружними зв'язками.

Оптимальне співвідношення параметрів системи вийшло достатньо стабільним для різних умов проектування однопрольотних цехів (завданих відділом теоретичних досліджень ЦНДІПСК).

Для поперечних рам з жорсткими вузлами  $n_{omm}^{жс} = 4,0 \div 5,0$ , - з вузлами, які мають піддатливість при повороті  $n_{omm}^{ш} = 7,0 \div 9,0$ , що дозволяє уточнити відомі рекомендації, зроблені на основі інженерного досвіду:  $n^{жс} = 5,0 \div 10,0$ ;  $n^{ш} = 15,0 \div 20,0$ .

**Четвертий розділ** дисертації присвячено питанням визначення характеристик пружної піддатливості та моделювання вузлових та опорних зв'язків - "верхніх" та "нижніх" вузлів каркаса (вузлів спряження елементів та кріплення цих елементів до фундаментів).

Дослідження вказаних питань проведено при наступних передумовах:

↯ достатньо достовірну інформацію про фактичну жорсткість вузлових та опорних зв'язків можна отримати тільки із спроби - по результатах експериментів на натурі; теоретичне рішення такої задачі є дуже складним через необхідність врахування імовірності зниження жорсткості елементів в вузлах в процесі поступового зносу (ослаблення болтових з'єднань, деформації фланців та пластин, дефекти зварних швів, корозія та інші фактори, що мають випадкову природу), а для "нижніх" вузлів – ще властивості та стан ґрунтів основи, який важко враховувати точно;

↯ жорсткість вузлів оцінюється за величиною згинальних моментів від випробувального навантаження, за яке приймається вертикальний тиск, що передається на каркас мостовими кранами.

Для достовірності експериментальних даних про роботу вузлів, статичні випробування (вимірювання за допомогою електротензометрії зусиль, що характеризують ступінь затиснення елементів каркаса) сполучалися с динамічними.

При розробці методики та проведенні динамічних випробувань:

↯ використовується можливість (при об'єднанні тензодатчиків в міст) записувати осцилограми згинальних моментів в поперечних перерізах колони каркаса та визначити величини цих зусиль по таких реалізаціях;

як параметри розподілу зусиль використовуються безрозмірні функції, що визначають положення нульових точок характерної для колони “кранового” цеха епюри згинальних моментів (рис. 5):

$$\frac{M_2 \square M_1}{M_2} \square K_{1-2} = \frac{Z_{1 \square 2}}{Z_{1 \square 2} \square Z_6}; \quad \frac{M_3 \square M_4}{M_3} \square K_{3-4} \square \frac{Z_{3 \square 4}}{Z_{3 \square 4} \square Z_4}; \quad (3)$$

Ці функції вважаються випадковими, розподіленими за нормальним законом;

для визначення обґрунтованих величин  $K_{1 \square 2}$  та  $K_{3 \square 4}$  за імовірнісними характеристиками (математичне очікування та дисперсія), використовуються, з метою отримання статистичної вибірки, осцилограми (рис. 6) зусиль в чотирьох поперечних перерізах колони, що були записані в різний час;

експериментально отримана епюра згинальних моментів (за допомогою величин  $K_{1 \square 2}$  та  $K_{3 \square 4}$ ) використовується для оцінки ступеню затиснення колони пружними зв'язками. Результати статичних та динамічних випробувань каркасів будівель, що відрізняються різними типами вузлових з'єднань, виявили **стосовно “верхніх” вузлів:**

можливу (та часту) відміну роботи елементів в типових жорстких вузлах від розрахункових припущень (через невдалі проектні рішення, похибки монтажу, поступовий знос);

відповідність роботи вузлів зі спиранням ригелів на колони “зверху” піддатливої при поворотах схеми, яка передбачається проектом;

**стосовно “нижніх” вузлів:**

- істотну відміну фактичних та розрахункових (жорстке затиснення) зусиль з причин піддатливості основи, недостатнього анкерування та ін.;

необхідність коригування розрахункової моделі для врахування цих та інших обставин, що знижують жорсткість вузла.

Для заміни на розрахункових моделях жорстко затиснених вузлів на пружні зв'язки потрібно експериментально визначати характеристики таких зв'язків, що враховують можливість пружних осадок та поворотів опор. При припущенні, що піддатливість опорних зв'язків каркаса оцінюється за величинами пружних пересувань точок колони в зоні “нижнього” вузла від випробувального навантаження, розроблена та реалізована методика вимірювання таких пересувань за допомогою прогибомерів за дистанційною схемою.

Дані вимірювань та величини випробувальних силових впливів, що їм відповідають, дають можливість визначити коефіцієнти піддатливості основи.

Схематизація опорних зв'язків на розрахункових моделях виконується з використанням пружних стержнів одиничної довжини, жорсткість яких відповідає вказаним вище характеристикам.



У п'ятому розділі дисертації представлені результати експериментально-теоретичного дослідження невідомих особливостей фактичного напружено-деформованого стану елементів нерозрізної внутрішньоцехової підкранової естакади, який потрібно враховувати під час оцінки експлуатаційної придатності таких конструкцій.

При проведенні випробувань естакади з нерозрізними підкрановими балками (6×24 м), встановленими на високі колони, вимірювання виявили несподівано високий рівень напружень (в 2,5 рази більший за теоретичні, за проектом) в крайніх точках нижнього пояса опорного перерізу балки, та такі ж самі, приблизно, “відповідні” напруження в підкрановій вітці колони. Причому, положення точок з найбільшими напруженнями залежить від положення кранового навантаження – з боку завантаженого та незавантаженого прольотів ці точки розташовані по діагоналі відносно опори, а при переїзді крана через опору в сусідній проліт ситуація змінюється кососиметрично (рис.7).

Дослідження цього явища, названого “ефектом опорного перерізу”, проведене поетапно. В теоретичному плані – розрахунком на різних варіантах розрахункових моделей, що враховують пружні осадки та повороти опор, вплив косоного вигину та стисненого кручення, сумісну роботу балки та колони (просторова модель) з виявленням характеру деформацій та величин напружень в зоні опорного вузла. Експериментально – послідовним уточненням методики випробувань – статичних (вимірювання напружень в точках) та динамічних (запис графіків зміни цих напружень у часі), а також – виявленням поворотів підкранової вітки колони за допомогою нівеліра з лазерною приставкою, дзеркал і приймального екрана.

**Зроблено висновок, що “ефект опорного перерізу” обумовлений складними згинально-скручувальними деформаціями підкранової балки та колони в зоні вузла їхнього спряження, котрі можна пояснити такими причинами:**

↯ асиметричність тонкостінного профілю підкраново-гальмівного стержня та вплив ексцентриситету кранового навантаження відносно центра вигину;

↯ невдала (така, що не застосовується в сучасних конструкціях, але є характерною для цехів з довготривалою експлуатацією) конструкція вузла спирання підкранової балки на колону (безпосередньо через нижній пояс), у відповідності до якої навантаження від крана передається від балки на край опорної грані колони, і яка створює взаємне пружне затиснення елементів естакади в такому вузлі, наближаючи її до роботи рамної системи;

↯ наявність, у зв'язку з роботою підкранової балки як нерозрізного ригеля рамної естакади, значних поздовжніх сил, істотно ексцентричних відносно центрів вигину підкраново-гальмівної балки та колони.

Розрахункова модель, котра б достатньо точно враховувала всі вказані обставини та відтворювала б реальну картину напруженого стану приопорних елементів балки та колони, виходить дуже складною, з великої кількості кінцевих елементів – пластин. Тому, при проектуванні нерозрізних підкранових естакад рекомендуються відомі конструктивні заходи, що виключають або

знижують “ефект опорного перерізу”. А при обстеженні конструкцій, реалізованих в минулі роки, основним методом виявлення максимальних напружень залишається експериментальний, на основі методичних розробок, наведених в даному розділі.

**Шостий розділ** дисертації присвячений методу підвищення надійності кранових та підкранових конструкцій обмеженням перекосів мостових кранів.

Відомо, що бічні сили пружної динамічної взаємодії ходових коліс з рейками, під час руху та роботи мостових кранів з перекосами, являються причиною передчасного зносу вказаних елементів, а також кріплень та з'єднань рейок, підкранових та гальмівних балок, що веде до скорочення строків безвідмовної експлуатації цеха.

При розробці даного методу приймалося до уваги, що для більшості мостових кранів перекоси є неминучими (в силу залежності їх від багатьох причин), тому потрібні спеціальні конструктивні заходи для обмеження перекосів в межах проектних зазорів між рейками та ребордами ходових коліс.

З цією метою запропоновано встановлювати між краном та підкрановими конструкціями пружні протиперекісні пристрої (стабілізатори), основним елементом яких (рис. 8) є пружинний демпфер (3). Під час руху мостового крана стабілізатори, контактуючи з рейками через роликові балансири (або одиночні ролики), змінюють силову взаємодію крана з каркасом, обмежують перекоси та забезпечують плавність ходу.

Ефективність запропонованого методу підтверджено експериментально та теоретично.

На базі відомої (М.А.Лобов) схематизації “кран-колія” складено розрахункову модель, яка описує процес руху крана з перекосами та включення стабілізаторів у роботу (рис. 9).

Відповідно змінні диференційні рівняння невільного руху крана:

$$\begin{aligned}
 & m_n \ddot{x} + \sum_{i=1}^4 F_i \ddot{R}_{d_i} + R_{d_3} \ddot{R}_{d_2} + R_{d_2} \ddot{R}_{d_4}; \\
 & J_0 \ddot{\varphi} + (P_1 \ddot{P}_2 + W_2 \ddot{W}_1) \ddot{\varphi} + \sum_{i=1}^4 F_i \ddot{\varphi} + \sum_{i=1}^4 R_{d_i} \ddot{h} / 2; \\
 & N_i \ddot{R}_i + F_i \ddot{\varphi} = 0; \quad N_i \ddot{F}_i + R_i \ddot{\varphi} = 0,
 \end{aligned} \tag{4}$$

Перше рівняння системи (4) описує поперечний рух центру моста, друге – його обертальний рух (рівняння Лагранжа другого роду), рівняння, що записані третіми в цій системі, визначають співвідношення сил, діючих на колеса крана.

Розроблено та використовується програмне забезпечення “Stub” для ЕОМ, яке дозволяє виконувати аналіз руху крана та синтез параметрів налагодження стабілізаторів.

Для мостового крана вантажопідйомністю 15 тс вирішення такої задачі показує, що при раціональних величинах цих параметрів максимальна величина бічних сил може бути знижена до

12 кН (рис. 10), а величини бічних сил контакту реборд коліс з рейками, що отримані експериментально, в середньому, в 1,5-2 рази більші.

Експериментальну перевірку ефективності роботи мостового крана, обладнаного стабілізаторами, виконано при значних відхиленнях підкранової колії від ідеальної траси (ДП “Завод ім. Малишева”, м. Харків).

До встановлення стабілізаторів кран працював з “пружними” перекосами (наявність силового контакту коліс з рейками). Заміна ходових коліс виконувалася, в середньому, через кожні півроку.

Згідно програми випробувань, були виконані: контроль відсутності пружних перекосів; запис величин бічних сил контакту роликів стабілізаторів з рейками; запис форми та інтенсивності горизонтальних коливань.

Випробування підтвердили роботоспроможність протиперекісних пристроїв та відповідність фактичних максимальних бічних сил, що передаються стабілізаторами на каркас, їхнім розрахунково-теоретичним величинам.

Динамічні характеристики системи “кран-каркас”, при наявності додаткових пружних елементів, значно покращилися (рис. 11). Частоти коливань, в середньому, збільшилися в 4 рази, амплітуди – зменшилися в 2,5 рази, час затухання коливань скоротився до 0,3 сек.

Заключний **сьомий розділ** містить авторські пропозиції для підсилення та вдосконалення конструкцій каркаса виробничих будівель, у відповідності до актуальної задачі забезпечення зручності технічного нагляду, ремонтопридатності, довговічності.

На основі принципів розділення функцій несучих конструкцій, спрощення конструктивної форми, регулювання та авторегулювання зусиль, використання високоміцних елементів та з’єднань розроблено нову конструктивну схему каркаса, котра має наступні особливості:

1. Підкранова естакада цеха відділена від стінової огорожі, яка передає навантаження від власної ваги та вітрових впливів на фахверк, встановлений по всьому периметру будівлі, а покрівля підтримується всіма колонами каркаса;

2. Колони каркаса, що несуть кранові мости, виконуються двох марок – К1 (рис. 12) та К2 (рис. 13), переважаючи через 12 м. Конструкції стержня цих колон виконуються з широкополічних двотаврів (найкраща конструктивна форма для виготовлення, контрольних оглядів, захисту від корозії).

Консольні елементи виготовлені з високоміцної сталі; з’єднання їх з іншими елементами колони виконуються фрикційними (на високоміцних болтах), що підвищує надійність в зоні динамічних кранових впливів.

При розробці конструкції колони К1 був реалізований принцип активної пристосовуваності до збільшення тиску кранового навантаження, який реалізується таким чином.

Підкранова балка встановлюється на консольний елемент колони, який має нерухому циліндричну опору. Роль другої (пружно-піддатливої) опори підкранової консолі виконують елементи підсилення (сталеві канати або жорсткі стержні з високоміцної сталі).

При наїзді кранового поїзда елементи підсилення (регулювання) включаються у роботу колони, обмежуючи поворот консолі та вертикальні переміщення підкранової балки в межах нормативних допусків. Причому це включення є авторегульованим: чим більше навантаження, тим більший реактивний натяг

елементів підсилення. Передача тиску кранів на підкранову частину колони через шарнірну опору дає можливість зменшити плече зовнішнього згинального моменту.

3. Підкранові балки – нерозрізні двопрольотні. Середньою опорою таких балок є колони К1. Розрахункова осадка таких опор (обмежена пружними деформаціями елементів підсилення та нормованими допусками для підкранової коліи) дозволяє раціонально вирівнювати максимальні згинальні моменти на опорах та в прольотах балки.

4. Колони К2, являючись крайніми опорами нерозрізних балок, будуть менш навантажені мостовими кранами. З врахуванням, також, розвантаження від вітрових впливів, можна підбирати конструкції стержнів колон К1 та К2 з однакових профілів.

Проведено порівняння нової конструктивної схеми каркаса з типовими для 70-х років конструкціями механоскладального цеха, обладнаного мостовими кранами вантажопідйомністю 100 тс.

Розрахунки елементів нового каркаса виконані на просторовій розрахунковій моделі (рис. 14), яка достатньо точно враховує умови сумісної роботи нерозрізної підкранової балки з колоною, де встановлений авторегульований зворотний зв'язок по відношенню до кранового навантаження.

Параметри цієї системи – характеристики осьової та згинальної жорсткості елементів та положення шарнірної опори під консоллю колони - підібрано таким чином, щоб розподіл зусиль відповідав вказаним вище критеріям раціональності: найбільшому ефекту розвантаження стержня колони К1 та рівності максимальних згинальних моментів на опорі та в прольоті підкранової балки.

При виконанні цих умов нова конструктивна схема краща за традиційну по первісних витратах сталі (табл. 2).

Таблиця 2

№ з/п	Елементи каркаса	Витрата сталі (т)	
		традиційна к.с.	нова к.с.
1	Кроквяні ферми	12,5	12,5
2	Підкроквяні ферми	5,6	-
3	Підкранові балки	25,6	19,4
4	Колони каркаса	59,8	55,3
5	Стояки фахверка	-	72,0
	Всього на ячейку к.с.	103,5	94,4
	На 1 м <sup>2</sup>	0,144	0,131

Важливе значення мають експлуатаційні переваги нового каркаса. Крім зазначених вище, він враховує можливість зростання навантажень при моральній амортизації цеха: більшість елементів

каркаса є збірно-розбірними; елементи підсилення в колоні К1 можуть бути замінені на більш потужні; колону К2 можна підсилити попереднім напруженням за допомогою затяжок (рис. 15).

Сенс цієї пропозиції – в створенні початковими зусиллями моменту, зворотного за знаком, згинальним зусиллям від тиску кранів на колону з ексцентриситетом. Показано, що раціонально направляти такі розвантажувальні зусилля відповідно обрису епюри кранових згинальних моментів та підбирати параметри затяжок (довжину, положення точок кріплення, зусиль натягання) з умов рівності максимальних напружень в небезпечних перерізах колони.

## ВИСНОВКИ

В результаті досліджень, представлених в даній дисертаційній роботі, вирішено актуальні задачі важливої науково-технічної проблеми забезпечення безвідмовної експлуатації та подовження ресурсу промислових будівель, обладнаних мостовими кранами.

З врахуванням конструктивних особливостей таких будівель та причин характерних пошкоджень, розроблені: принципи адекватних розрахункових моделей для оцінки технічного стану споруд; методи експериментальних досліджень фактичних умов їхньої роботи; методи підсилення та вдосконалення конструкцій каркасів – для покращення експлуатаційних якостей та подовження строків безвідмовного функціонування.

1. Задачу побудови апроксимуючих моделей, адекватних роботі каркаса промислових будівель розглянуто як задачу синтезу, за критерієм точності розрахунків, стосовно кількості елементів каркаса, які враховуються, схематизації цих елементів, схематизації та врахування пружності з'єднань.

Для каркасів, конструктивна схема яких відповідає принципу концентрації матеріалу (що є характерним для більшості цехів, які експлуатуються) обґрунтовано, як адекватну, розрахункову модель поперечних конструкцій каркаса у вигляді комбінованої системи, що включає в себе всі елементи та зв'язки, які уточнюють її роботу в своїй площині. Для розрахунків на локальні впливи вона доповнюється пружними стержневими зв'язками – “зовнішніми”, що враховують ефект її просторової роботи в системі каркаса, та “внутрішніми” - для врахування впливу пружної піддатливості елементів каркаса в вузлах спряження та спирання.

2. Досліджено на таких моделях, за допомогою чисельних експериментів, питання:

↯ про вплив різних “зовнішніх” пружних зв'язків на величини зусиль та деформацій при локальних впливах на конструкції, що моделюються;

↯ про можливість підсилення поперечних конструкцій регулюванням жорсткості поздовжніх елементів каркаса.

3. Розроблено методи визначення розрахункових параметрів стержневих пружних зв'язків: “зовнішніх” - шляхом розрахунку (або користуючись табличними значеннями для типових конструктивних рішень); “внутрішніх” - за результатами натурних випробувань.

Розроблено теоретичні та методичні питання забезпечення достовірності даних таких випробувань.

4. Для попереднього призначення розрахункових параметрів згинальної жорсткості елементів статично невизначених моделей в процесі проектування, поставлено та вирішено задачу про оптимальне співвідношення цих параметрів. Отримано, при врахуванні роботи “зовнішніх” пружних зв'язків, інваріантне, для різних умов проектування, рішення, яке дозволяє уточнити відомі рекомендації.

5. Досліджено “ефект опорного перерізу” нерозрізної підкранової естакади в промислових будівлях, що експлуатуються. При конструктивному оформленні опорних вузлів, що наближають естакаду до роботи рамної системи, вказаний ефект проявляється у вигляді складних згинально-скручувальних деформацій та відповідних напружень несподівано високого рівня (в 2,5 рази вище розрахункових).

З врахуванням аналізу причин таких, невідомих раніше, особливостей дійсної роботи елементів нерозрізної естакади, зроблено рекомендації для уточнення розрахункової моделі, прийняття конструктивних заходів та проведення експериментів на натурі з оцінкою впливу вказаних факторів на експлуатаційну надійність споруди.

6. Запропоновано метод підвищення довговічності підкранових та кранових конструкцій обмеженням перекосів мостових кранів, що досягається установкою між цими конструкціями пружних протиперекісних пристроїв, правильним їх налагодженням та розрахунковим забезпеченням.

Для реалізації цього методу вирішено задачі:

- ↯ розвитку теорії розрахунку складанням розрахункової моделі та рівнянь руху крана;
- ↯ синтезу параметрів налагодження протиперекісних приладів (стабілізаторів);
- ↯ розрахункової та експериментальної перевірки ефективності методу (усунення “пружних” перекосів, зменшення бічних сил, покращення динамічних характеристик системи “кран-каркас”);
- ↯ впровадження в умовах важкого режиму роботи крана та значних відхилень підкранової колії від ідеальної траси.

7. Розроблено спосіб підсилення сталевих колон каркаса “кранових” цехів створенням початкових зусиль, що розвантажують колону від вигину, шляхом натягання включених до конструктивної схеми каркаса гнучких елементів високої міцності.

Розглянуто та вирішено питання оптимізації параметрів попереднього напруження, що дозволяє забезпечити необхідний ефект підсилення найбільш економічними засобами.

8. Для проектування виробничих будівель з мостовими кранами розроблені нові конструкції колон каркаса, у відповідності до вирішення задач: спрощення конструктивної форми, раціонального використання елементів з високоміцної сталі, активного регулювання та авторегулювання зусиль, пристосованості до умов технічного утримання та довготривалої експлуатації.

9. На основі застосування двох марок колон нового типу та двохпрольотних нерозрізних балок, розроблено нову конструктивну схему каркаса з проектованою властивістю адаптації найбільш навантажених елементів до тисків від кранового поїзда та частковим розділенням функцій несучих конструкцій.

10. Результати дисертаційної роботи - методи експериментальних досліджень, методи підсилення підкранових та кранових конструкцій, розрахункові моделі - запроваджено при вирішенні задач забезпечення роботоспроможності конструкцій промислових будівель, що знаходяться в експлуатації.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Основний зміст дисертаційної роботи викладено в таких публікаціях:

1. Ермак Е.М. Действительная работа и расчетные модели стального каркаса промышленных зданий. - Макеевка: ДонГАСА, 2002. - 189 с.
2. Ермак Е.М. Усиление внецентренно-сжатых колонн с помощью предварительного напряжения // Аннотационный сборник работ в области строительных металлоконструкций. - М.: ЦНИИпроектстальконструкция, 1989. - С. 17-18.
3. Ермак Е.М. Уточнение расчетных предпосылок для оценки эксплуатационной надежности строительных конструкций // Межвузовский сб. науч. трудов "Повышение долговечности строительных конструкций ж.д. транспорта". Вып. 870. - М.: МИИТ, 1992. - С. 85-90.
4. Ермак Е.М. Уточнение жесткости опорных и узловых связей рамных конструкций на основе натуральных испытаний // Межвузовский сб. науч. трудов "Вопросы обеспечения экономичности и эксплуатационной надежности конструкций транспортных сооружений". Вып. 21. - Харьков: ХИИТ, 1993. - С. 3-13.
5. Ермак Е.М., Литвинов М.И., Новиков В.В. Особенности действительной работы большепролетных элементов стального каркаса промышленных зданий // Межвузовский сб. науч. трудов "Вопросы обеспечения экономичности и эксплуатационной надежности конструкций транспортных сооружений". Вып. 21. - Харьков: ХИИТ, 1993. - С. 36-53.
6. Ермак Е.М., Кириченко М.А., Семенец Г.Л. Анализ работы поперечных рам стального каркаса промышленных зданий при локальных воздействиях // Межвуз. сб. науч. тр. "Создание

новых композиционных материалов, повышение эксплуатационной надежности и сроков службы конструкций и сооружений на ж.д. транспорте” Вып. 26. - Харьков: ХарГАЖТ, 1996. - С. 30-43.

7. Ермак Е.М., Ермак З.Е. Повышение надежности подкрановых конструкций // Зб. наук. праць “Експлуатація та ремонт будівель і споруд міського господарства”. - К.: Інститут системних досліджень освіти, 1995. - С. 11-15.

8. Ермак Е.М. Оптимизация расчетной модели стального каркаса одноэтажных промышленных зданий // Сб. трудов Международной конференции “Металлостроительство - 96” т. 1. - Донецк-Макеевка, 1996. - С. 28-29.

9. Ермак К.М., Моренов К.С. О свойствах задачи оптимизации соотношения жесткостей элементов поперечных стальных рам ОПЗ // Межвуз. сб. науч. тр. “Совершенствование методов расчета и проектирования конструкций и сооружений”. Вып. 27. - Харьков: ХарДАЗТ, 1996. - С. 57-66.

10. Ермак Е.М. К вопросу о рациональной конструкции колонн стального каркаса крановых цехов // Сб. трудов Международной конференции “Теория и практика металлических конструкций” т. 1. - Донецк-Макеевка, 1997. - С. 98-102.

11. Ермак Е.М. Про задачу уточнення величин кранових навантажень на конструкції промислових будівель // Зб. наукових праць “Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті”. Вип. 37. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - С. 100-107.

12. Ермак Е.М. Об учете частичной неразрезности ригелей поперечных рам стального каркаса одноэтажных промышленных зданий // Научно-техн. сб.: Коммунальное хозяйство городов. Вып. 25. - К.: Техника, 2000. - С. 77-87.

13. Ермак Е.М. Про раціональну конструкцію сталевих колон, що несуть навантаження від мостових кранів // Зб. науч. праць “Питання підвищення надійності залізничної колії та інженерних споруд”. Вип. 48. - Харків, 2001. - С. 37-41.

14. Ермак Е.М. Підвищення надійності кранових і підкранових конструкцій обмеженням перекосів мостових кранів / Металеві конструкції. т.3. УАМК. - 2000. - С. 21-26

15. Ермак Е.М. Усиление стальных колонн искусственным регулированием усилий // Науковий вісник будівництва. Вип. 18. - Харків: ХДТУБА, 2002. - С. 353-359.

16. Ермак Е.М. Экспериментальная проверка “жесткости” узлов сопряжения элементов стального каркаса промышленных зданий // Коммунальное хозяйство городов: Науч.- техн. сб. Вып. 42. - К.: Техніка, 2002. - С. 80-89.

17. Ермак Е.М. Методика уточнения характеристик жесткости узловых и опорных связей стального каркаса “крановых” цехов на основе динамических испытаний / Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - № 3. - 2002. - С. 22-25.



18. Ермак Е.М. Экспериментальное изучение боковых сил и динамических характеристик системы “кран-каркас” при работе мостовых кранов с ограничителями перекосов // Вестник ДонГАСА “Строительные конструкции, здания и сооружения”. - № 2 (33). - Макеевка, 2002. - С. 10-19.

19. Ермак Е.М., Калинин П.Н. Синтез параметров настройки противоперекосных стабилизаторов для мостовых кранов // Високі технології в машинобудуванні: Зб. науков. праць НТУ “ХПІ”. - Харків, 2002. - Вип. 1 (5). - С. 110-121.

20. Ермак Е.М. Совершенствование конструктивной формы стальных колонн и конструктивной схемы каркаса “крановых” цехов // Науковий вісник будівництва. Вип. 19. - Харків: ХДТУБА, 2002. - С. 218-224.

21. Ермак Е.М. Дійсна робота і працездатність неразрізних конструкцій тривалих промислових будівель / Будівництво України, № 6. - 2002. - С. 14-18.

22. Ермак Е.М. Розрахункові моделі щодо аналізу несівної спроможності конструкцій виробничих будівель в умовах локальних навантажень / Будівництво України, № 1. - 2003. - С.12-17

23. А.с. 1588693. СССР, Кл. В 66 С 9/16. Стабилизирующее устройство ходовой тележки мостового крана / Е.М.Ермак, И.М.Роговой (СССР). - № 4218876/27-11; Заявлено 01.04.87; Опубл. 30.08.90. Бюл. № 32. - 3 с.

24. А.с. 1507937. СССР, Кл. Е 04 С 3/10. Предварительно напряженная металлическая колонна / Е.М.Ермак, Я.П.Фельдман (СССР). - № 4364015/23-33; Заявлено 15.01.89; Опубл. 15.09.89. Бюл. № 34. - 4 с.

25. А.с. 1791585. СССР. Кл. Е 04 С 3/32. Металлическая колонна / Е.М.Ермак, В.В.Молчанов (СССР). - 4880500/33; Заявлено 11.11.90; Опубл. 30.01.93. Бюл. № 4. - 4 с.

26. А.с. 1744046. СССР. Кл. В 66 С 17/00. Мостовой кран / Е.М.Ермак, В.В.Молчанов, И.М.Роговой (СССР). - 4829518/11; Заявлено 28.05.90; Опубл. 20.06.92. Бюл. № 24. - 4 с.

27. А.с. 1766826. СССР. Кл. В 66 С 13/06. Грузовая тележка мостового крана / Е.М.Ермак, И.М.Роговой (СССР). - 4788749/11; Заявлено 11.02.90; Опубл. 07.10.92. Бюл. № 37. - 4 с.

Список праць, що додатково віддзеркалюють результати дисертаційної роботи:

28. Ермак Е.М. О задаче оптимального проектирования стальных рамных конструкций с упруго-податливыми связями / Тезисы докладов научно-технической конференции “Вопросы оптимизации при расчете и проектировании металлических конструкций”. - Свердловск, 1981. - С. 12-13.

29. Ермак Е.М., Литвинов М.И. Уточнение расчетной схемы неразрезных подкрановых конструкций / Тезисы докладов всесоюзного семинара “Индустриальные технические решения для реконструкции зданий и сооружений промышленных предприятий”. - Макеевка, 1986. – С. 122.

30. Ермак Е.М. Усиление подкрановых конструкций промышленных зданий и эстакад / Тезисы докладов 5-й Украинской научно-технической конференции по металлическим конструкциям “Усиление и реконструкция производственных зданий и сооружений, построенных в металле”. – Киев, 1992. – С. 28.

31. Ермак Е.М., Кириченко М.А., Семенец Г.Л. Об участии фонарных надстроек в работе несущих конструкций шатра промышленных зданий. // Сборник трудов II научно-технической конференции России и Украины “Вопросы проектирования и эксплуатации фонарей промышленных зданий”. - Магнитогорск, 1993. – С. 40-42.

32. Ермак Е.М. Расчетная модель для оценки надежности стального каркаса ОПЗ при локальных нагрузках / Тезисы докладов Международного симпозиума “Исследование и строительство в экстремальных условиях”. - Москва, 1996. – С. 11.

33. Ермак Е.М. Оптимизация расчетных моделей и конструкций стального каркаса крановых цехов и эстакад. // Сборник докладов Международного симпозиума “Современные строительные конструкции из металла и древесины”. – Одесса, 1997. – С. 159-163.

34. Ермак Е.М., Исмагилов А.О. Уточнение расчетных предпосылок для оценки надежности сооружений, построенных на просадочных грунтах / Тезисы докладов Международной конференции “Надежность и безопасность зданий и сооружений в условиях особых воздействий” - Санкт-Петербург, 2001. – С. 46.

35. А.с. 1735470. СССР. Кл. Е 01 В 9/66, В 66 С 7/08. Устройство для крепления рельса к подкрановой балке / Е.М.Ермак, И.М.Роговой (СССР). - 4765114/11; Заявлено 05.12.89; Опубл. 23.05.92. Бюл. № 19. - 4 с.

36. А.с. 1791585. СССР. Кл. Е 04 С 3/32. Металлическая колонна / Е.М.Ермак, В.В.Молчанов (СССР). - 4880500/33; Заявлено 11.11.90; Опубл. 30.01.93. Бюл. № 4. - 4 с.

## АННОТАЦИЯ

Ермак Е.М. Совершенствование расчетных моделей и конструкций для продления сроков эксплуатации промышленных зданий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 0523.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. Донбасская государственная академия строительства и архитектуры, Макеевка, 2003.

Диссертация посвящена проблеме обеспечения безопасной эксплуатации и продления ресурса промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами.

Выполнен анализ конструктивных решений эксплуатируемых цехов, причин характерных повреждений, расчетных схем проектирования и особенностей крановых воздействий на

конструкции таких зданий. Приведен обзор научных трудов, оказавших влияние на развитие и совершенствование расчетных моделей и конструкций крановых цехов.

Изложены принципы формирования расчетных моделей, адекватных фактической работе конструкций промышленных зданий. С учетом особенности конструктивной схемы каркаса эксплуатируемых цехов, обоснована возможность и целесообразность решения этой задачи на основе уточнения традиционных предпосылок в отношении топологии расчетной системы, схематизации элементов и узлов, эффекта пространственной работы локально загруженных конструкций.

Предложено расчетную систему, обоснованно выделенную из полной схемы конструктивного комплекса, дополнять упругими стержневыми связями – для учета совместной работы этой системы с элементами каркаса, не включенными в ее состав (“внешние” упругие связи) и учета упругой податливости сопряжений и креплений элементов (“внутренние” упругие связи). Получены формулы и составлены таблицы для определения параметров “внешних” упругих связей, что упрощает работу на этапе подготовки исходных данных к расчетному анализу усилий и деформаций.

Подтверждена достаточная точность и достоверность результатов расчетов на предлагаемом варианте адекватной расчетной модели путем сравнения этих результатов с данными натурных испытаний.

Численными экспериментами на различных вариантах расчетных моделей, производных от предлагаемого базового варианта, показаны возможности усиления поперечных конструкций каркаса рациональным изменением жесткости и количества продольных элементов.

Уточнены, на основе решения задачи оптимизации, рекомендуемые соотношения параметров системы для расчета статически неопределимых конструкций каркаса на первом этапе проектирования.

Разработаны методы экспериментально-теоретического исследования упругой податливости узловых и опорных связей каркаса и моделирования их на расчетной системе “внутренними” упругими связями. Учитывается вероятность случайной изменчивости характеристик упругого защемления колонн каркаса в “верхних” и “нижних” узлах, поэтому определение этих параметров проводится с применением статистического анализа результатов натурных испытаний.

Исследован “эффект опорного сечения” неразрезной подкрановой эстакады с выявлением изгибно-крутильных деформаций и максимальных напряжений в зоне узла сопряжения основных элементов. Сделаны рекомендации для учета такого напряженно-деформированного состояния при оценке работоспособного состояния подкрановых конструкций.

Разработаны методы усиления подкрановых и крановых конструкций промышленных зданий – введением в систему “кран-каркас” упругих противоперекосных устройств и гибких

высокопрочных элементов с начальными усилиями. Решены задачи о подборе рациональных параметров указанных элементов усиления для устранения причин преждевременного износа, минимизации боковых сил, улучшения динамических характеристик системы “кран-каркас” и увеличения грузоподъемности колонн.

Разработана новая конструктивная схема каркаса с разделением функций несущих элементов, упрощением их конструктивной формы, использованием высокопрочных сталей и конструктивным обеспечением рационального управления напряженно-деформированным состоянием.

Приведены данные, позволяющие судить о преимуществах новых конструкций и модернизированной конструктивной схемы каркаса по показателям экономичности и эксплуатационным качествам.

Результаты исследований, приведенных в диссертации, внедрены: при разработке информационно-экспертной системы для технической эксплуатации ответственных промышленных зданий, при решении задач продления технического ресурса конструкций ряда цехов в городах Украины и России, при подготовке Государственного стандарта Украины ДСТУ Б В.2.6-10-96 “Конструкции стальные строительные. Методы испытаний нагружением”.

Ключевые слова: промышленные здания, сроки эксплуатации, каркас, мостовые краны, адекватные расчетные модели, упругие связи, крановые нагрузки, боковые силы, натурные испытания, численные эксперименты, регулирование усилий, элементы усиления.

## АНОТАЦІЯ

Єрмак Є.М. Вдосконалення розрахункових моделей та конструкцій для подовження строків експлуатації промислових будівель. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Донбаська державна академія будівництва та архітектури, Макіївка, 2003.

Дисертацію присвячено проблемі забезпечення безпечної експлуатації та подовження технічного ресурсу промислових будівель, обладнаних мостовими кранами.

Розроблено принципи формування варіантів адекватних розрахункових моделей для оцінки технічного стану конструкцій каркаса.

Зроблено рекомендації для моделювання основних конструкцій каркаса (поперечних та поздовжніх) плоскими та просторовими підсистемами з пружними зв'язками.

Розроблено методи експериментальних досліджень фактичної роботи елементів, вузлових та опорних зв'язків каркаса, для уточнення та визначення параметрів розрахункових моделей.

Розроблено методи підсилення підкранових та кранових конструкцій промислових будівель – введенням в систему “кран-каркас” пружних протиперекісних пристроїв та гнучких високоміцних елементів з початковими зусиллями.

Розроблено конструкції та конструктивну схему каркаса з пристроями для авторегулювання зусиль та напружень від кранових навантажень.

Ключові слова: промислові будівлі, строки експлуатації, каркас, мостові крани, адекватні розрахункові моделі, пружні зв'язки, кранові навантаження, бічні сили, натурні випробування, чисельні експерименти, регулювання зусиль, елементи підсилення.

## ABSTRACT

Yermak E.M. Improvement of accounted models and constructions to prolong the terms of industrial buildings maintenance. – Manuscript

Thesis for obtaining the scientific degree of a Doctor of Technical Sciences in specialty 05.23.01 – Building Constructions, buildings and structures. Donbass State Academy of Construction and Architecture, Makeevka, 2003.

The thesis is devoted to the problem of providing the safe maintenance and prolonging technical resources of industrial building which are equipped with bridge cranes.

The principles to form versions of adequate accounted models for appreciating the technical conditions of framework design are developed.

References for shaping the main framework design (transverse and longitudinal) by means of plane and spatial subsystems with elastic junctions are performed.

Experimental research methods of practical element, junction and supporting framework design are developed; they are used for making more precise and defining the accounted model parameters.

Methods of strengthening the subcrane and crane design of industrial buildings by introducing the elastic and anti-bending devices and flexible high durable elements with initial stresses into the “crane - framework system” are developed.

Design and construction project of the framework with devices for autoregulation the stresses from crane loadings are worked out.

Key words: industrial building, maintenance terms, framework, bridge cranes, adequate accounted models, elastic junctions, crane loading, natural tests, numeral experiments, stress regulation, stress elements.

Підписано до друку 14.05.2003. Формат 60x84 1/16.

Умов. друк. арк. 2,19. Тираж 100 прим. Заказ 334-03.

Донбаська державна академія будівництва і архітектури

Надруковано у рекламно-видавничому секторі ВМЗ ДонДАБА

86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2