

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ПОЛТАВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Шмуклер Валерій Самуїлович

УДК 624:725/728

ПРОСТОРОВІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ КАРКАСНІ СИСТЕМИ  
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ

05.23.01 - Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
доктора технічних наук

Полтава - 1997

№ 38.489

Робота виконана на кафедрі будівельних конструкцій Харківської державної академії міського господарства.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Городецький

Олександр Сергійович

доктор технічних наук, професор

Климов

Влій Анатолійович

доктор технічних наук, професор

Фомица

Леонід Миколайович

Провідна організація - Зональний науково-дослідний і проектний інститут експериментального та типового проектування житлових і громадських будівель /КиївЗНДТЕП/


Захист дисертації відбудеться "28" жовтня 1997 р. о "14" годині на засіданні спеціалізованої ради Д 25.01.02 із спеціальності "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" Полтавського технічного університету за адресою: 314601, м.Полтава, пр.Першотравневий, 24.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці університету.


Автореферат розіслано " " 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради, кандидат технічних наук, доцент

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00737990 (Z)



О.В. Семко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Незважаючи на велику економічну скруту, Україна прагне зводити комфортне житло та об'єкти соціальної сфери. Усталена база будіндустрії, орієнтована переважно на збірне домобудування, без особливих змін не зможе задовольнити весь спектр сучасних вимог. З другого боку, відмова від наявних потужностей, підготовлених кадрів, традицій була б неправильною та економічно нереальною. Рациональне поєднання існуючих методів та засобів будівництва, перехід до проблемно орієнтованих систем, використання останніх досягнень в галузі будівельної науки є перспективним напрямком дослідницьких робіт. При цьому не можна не зважати на ряд аспектів, що істотно впливають на вибір та реалізацію відповідних стратегій. Так, наприклад, в Україні і за кордоном виявляється тенденція відведення під будівництво територій із складними рельєфом та інженерно-геологічними умовами, що пов'язано з необхідністю використання земель для сільськогосподарських та дендрологічних потреб.

Не менш актуальною є проблема реконструкції "старих" міст, труднощі вирішення якої за умов наявної забудови загальновідомі. Викладене вище обумовлює необхідність створення легких ефективних та швидкозводимих конструкцій з широким набором архітектурно-композиційних рішень, а також систем, об'ємно-планувальні та конструктивні принципи побудови яких задовольняли б, з одного боку, прогресивно змінні вимоги до зручності проживання та композиційної виразності, а з другого - інженерні та економічні обмеження.

Сказане свідчить про необхідність побудови наукового напрямку, що обґрунтовує вирішення важливої проблеми - створення житла та об'єктів соціальної культури на новому якісному рівні, але в умовах реального, економічно доцільного використання існуючої (в разі потреби) мінімальної реконструкції існуючої бази будіндустрії.

Мета роботи - створення на основі побудови модифікації теорії прямого проектування систем будівель, що відповідають сучасним ви-

могам, при максимальному використанні існуючої бази будіндустрії.

Автор захищає:

- результати аналізу ситуації, що склалася в галузі житлово-цивільного індустріального будівництва, і розроблені на його основі принципи формування каркасних систем багатокритеріальної відповідності;

- побудовану методологію розробки проблемно орієнтованих будівельних систем, що ґрунтується на алгоритмах їх прямого проектування, раціонального конструювання та оптимізації основних параметрів;

- методику оцінки впливу специфічних особливостей деформування просторових збірних пластинчасто-стрижньових систем, розроблену на основі кінцевоелементного математичного моделювання їх напружено-деформованого стану, включаючи побудову ефективних обчислювальних процедур, спрямованих на зменшення розмірності задач і, як наслідок, часу лічіння, урахування геометричної та фізичної нелінійності систем, а також коректного опису з'єднань окремих елементів;

- оцінку вогнестійкості та пожежної безпеки розроблених нових типів тонкостінних конструкцій, оцінку їх морозостійкості, а також тепло та звукоізоляційних характеристик;

- розроблені нові конструкції та оцінку відповідності їх характеристик сучасним вимогам;

- результати теоретичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану запропонованих систем, що знаходяться під дією сил і спеціальних навантажень;

- методику формування задач векторної оптимізації каркасних систем пропонуваного типу з одночасним регулюванням їх напружено-деформованого стану;

- принципи формування елементів розроблених каркасних систем;

- результати техніко-економічного аналізу запропонованих конструктивних рішень;

- перевірку результатів досліджень каркасних та деяких інших систем, здійснену через проектування і будівництво;

- розроблені рекомендації з розрахунку, конструювання, виготов-

лення, транспортування та монтажу елементів каркасних систем багатокритеріальної відповідності.

Наукову новизну виконаного комплексу досліджень визначають:

- методика розробки будівельних систем, що забезпечує наукове обґрунтування проектування та зведення конструкцій з раціональними параметрами;

- методика побудови стійких алгоритмів вирішення нелінійних задач для конструкцій, що зазнають складний напружений стан і зроблені з матеріалів, які мають спадаючу вітку на індикаторних діаграмах;

- методика зменшення розмірності задачі пошуку компонентів напружено-деформованого стану пластинчасто-стрижньової системи, побудована на основі методу суперелементів у формі методу перевизначених контурних колокацій;

- методика формування задач векторної оптимізації конструкцій в умовах регулювання їх напружено-деформованого стану;

- результати розв'язування задач прямого проектування розроблених конструкцій, побудовані на основі складених методик, що забезпечують раціоналізацію параметрів системи в цілому та окремих її елементів;

- методика комплексних теоретичних та експериментальних досліджень будівельних конструкцій, що забезпечує реалізацію логічної послідовності "конструктивна пропозиція - готова до промислової експлуатації система з позитивними параметрами".

Окрім переліченого вище, проведені дослідження завершилися такими результатами:

- складеними алгоритмами та програмами розв'язання нелінійних задач теорії конструкцій, запровадженими в обчислювальний комплекс "МІРАЖ";

- побудованими теоретичними полями зусиль і переміщень, що виникають в елементах каркасних систем, які характеризують вплив різних факторів на їх напружено-деформований стан і дозволяють здійснити раціональний вибір основних конструктивних параметрів;

- експериментальними даними про напружено-деформований стан, несучу здатність та тріщиностійкість нових конструктивних систем і окремих елементів, одержаними з урахуванням впливу факторів різної фізичної природи;

- пакетами розрахункових моделей, що описують розглядувані системи з достатньо високим ступенем коректності і задають розподіл компонентів напружено-деформованого стану в них близький до дійсного;

- алгоритмами постановок і формами запису критеріїв якості та обмежень при формалізації задач оптимізації параметрів конструкцій з одночасним керуванням їх напружено-деформованим станом;

- даними про проектування, виготовлення і будівництво, що підтверджують раціональність і ефективність запропонованих конструктивних систем, їх елементів та вузлів.

#### Наукову новизну роботи також визначають

##### *для каркасних систем:*

- нова конструктивна рамно-панельна система для житлово-цивільного будівництва "РАМПА";

- нова зв'язкова каркасна система для об'єктів житла та соціальної інфраструктури "ІКАР";

- нова конструктивна система житлових безкаркасних будівель "ДОБОЛ";

- конструкція та принципи виготовлення ефективних блоків з термоукладками для зовнішніх стін будівель;

- конструкція та послідовність виробництва ефективних блоків стін підвалів для житлових та громадських будівель;

- нові типи залізобетонних конструкцій, армованих просічним листом;

##### *для інших систем:*

- оптимізовані конструкції прогонової споруди мостових кранів великої вантажопідйомності;

будівельні конструкції підвищеної опірності вібродинамічним впливам.

Практичне значення і реалізація роботи полягають в наступному:

- розроблені й досліджені нові конструктивні системи, методи та методики їх раціонального проектування, що відкривають широкі можливості для створення об'єктів житлово-цивільного призначення, які відповідають підвищеним архітектурно-компонувальним, екологічним, енергетичним та економічним вимогам при максимальному використанні й мінімальній реконструкції існуючої бази будіндустрії;
- розроблені й апробовані в проектуванні та будівництві конструкції, вироби та деталі збірних просторових ефективних каркасів;
- розроблені й затверджені в органах УкрСепро правила та технічні умови на виготовлення, транспортування і монтаж елементів запропонованих систем.

Основні результати досліджень впроваджені:

- у каркасно-панельній серії для об'єктів житлово-цивільного призначення "РАМПА", НПБК "РАМПА";
- у архітектурно-будівельній системі (зв'язковий каркас) "ІКАР", НВФ "ІКАР";
- у проекті 10 поверхового житлового будинку системи "ДОВОЛ" по Московському проспекту м.Харкова, ДП "Укрміськбудпроект"
- у проектах кварталів житлових будинків в м.Харкові, м.Первомайську Харківської області, м.Кіровограді, м.Северодонецьку, ДП "Укрміськбудпроект", НПБК "РАМПА", НВФ "ІКАР";
- у проекті лабораторного корпусу Курязького домобудівного комплексу в с.Пісочині Харківської області, НВФ "ІКАР";
- у проекті 4-поверхового гаража-стоянки на 600 машин в м.Харкові, НПБК "РАМПА";
- у проектах готельно-туристичних комплексів в м.Харкові, НПБК "РАМПА";
- у проектах мостових кранів вантажопідйомністю від 400т до 800т, НДПТКІ "Укркраненерго";
- у проектах мобільних електростанцій ПАЕС -2500, АТ "Мотор-січ", АТ "ІМТОКС".

Техніко-економічні показники названих проектів відзначаються конкурентноздатністю, підтвердженою практикою їх зведення.

За результатами конструкторських розробок та досліджень одержано такі авторські свідоцтва й патенти:

"Стінова панель" - а.с. N1738960.

"Стінова панель" - а.с. N1206412.

"Багатоповерховий будинок каркасно-панельного типу" - а.с. N1291692.

"Багатоповерховий будинок каркасно-панельного типу" - а.с. N1712558.

"Рама каркасу промислової будівлі" - а.с. N1647110, а.с. N87259 (Болгарія), а.с. RU992-89 (Чехословаччина), а.с. PE044/325923 (НДР).

"Перекриття" - а.с. N1647101.

"Залізобетонний захисний елемент" - а.с. N1738962, патент України N3282.

"Каркасно-панельна будівля РАМПА" - патент України N4638, патент Росії N2000398.

"Каркасна будівля ІКАР" - патент України N10955, патент Росії N2052592.

"Багатоповерхова будівля" - а.с. N1735547.

"Залізобетонний елемент" - а.с. N1571168.

"Спосіб монтажу каркаса будинка із збірних залізобетонних рам і пристрій для його здійснення" - а.с. N1733600, патент України N2024.

"Інвентарна форма для виготовлення пустотілих бетонних блоків" - патент України N5240, патент Росії N2040399.

"Пристрій для захисту будівельних конструкцій від вібродинамічного впливу" - патент Росії N2057232.

"Прогон споруда мостового крану" - а.с. N751786.

"Прогон споруда відкритого несиметричного профілю для вантажопідйомного крану" - а.с. N1541179.

Апробація роботи здійснена:

- у щорічних 1990-1997р.р. науково-технічних звітах про виконані НДР Харківською державною академією міського господарства, науково-проектно-будівельною компанією "РАМПА" і науково-виробничою фірмою "ІКАР";

- у виставочних зразках на ВДНГ СРСР і УРСР, відзначених золотом та бронзовою медалями у 1985-1986р.р.;

- у повідомленні на Всесоюзному симпозиумі "Метод дискретних особливостей у задачах математичної фізики", Харків, 1985р.;

- у доповіді на Всесоюзній конференції "Системи автоматизованого проектування фундаментів і основ", Челябінськ (Росія), 1988р.;

- у доповідях на Республіканській науково-технічній конференції "Удосконалення залізобетонних конструкцій, що працюють на складні види деформацій, і їх впровадження у будівельну практику", Полтава, 1989р.;

- у доповіді на міжнародному семінарі з проектування житлових та громадських будівель, Дакка (Бангладеш), 1991р.

- у доповідях на міжнародних науково-технічних конференціях "Ресурс та енергозберігаючі технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій", Белгород (Росія), 1993-1995р.р.;

- у доповіді на міжнародній науково-технічній конференції "Удосконалення будівельних матеріалів, технологій і методів розрахунку конструкцій в нових економічних умовах", Суми, 1994р.;

- у доповіді на Першій Всеукраїнській науково-технічній конференції "Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону", Київ, 1996р.;

- у доповідях на науково-технічних конференціях Харківської державної академії міського господарства, Харків, 1990-1997р.р.

За виконання теми "Розробка, дослідження і впровадження нової архітектурно-будівельної системи "РАМПА" для житлово-цивільного будівництва" присуджена Державна премія України з архітектури за 1995р.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 37

наукових роботах, у тому числі в 2-х брошурах.

Обсяг роботи. Робота складається з вступу, 9 розділів та загальних висновків, містить 270 сторінок машинописного тексту, 266 рисунків і таблиць, бібліографію з 287 назв і 2 додатки.

Автор визнає за свій обов'язок висловити подяку науковому консультантові заслуженому діячу науки і техніки України, доктору технічних наук, професору О.Л.Шагіну.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Аналіз особливостей несучих та огороджувальних конструкцій будівель житлово-цивільного призначення, методів їх розрахунку та проектування, технологічних прийомів виготовлення та зведення споруд, уточнення уявлень про поведінку конструкцій у зв'язку з інформацією, одержаною на основі обробки результатів натурних експериментів, дозволив виявити ряд принципових моментів, що склали основу задач цього дослідження. Зокрема, відзначається, що індустриальні системи вітчизняного масового будівництва і технологій виробництва їх елементів переважно орієнтовані на випуск та зведення великопанельних будинків. Каркасні й каркасно-панельні системи, головним чином, використовуються для спорудження громадських будівель. Існуюча база будіндустрії, незважаючи на досить високий рівень розвитку, тільки частково відповідає сучасним вимогам, у першу чергу, через відсутність гнучких технологій, значну енергоемність основних технологічних процесів, відсутність ефективних матеріалів та процедур виготовлення виробів і конструкцій збірного домобудування. Разом з тим є всі передумови, а також певні традиції, досвідчені кадри для трансформації наявних потужностей в сучасні мобільні виробництва, що відповідають всім необхідним вимогам. Безкаркасні системи індустриального домобудування зручні і достатньо економичні при транспортуванні й монтажі споруд. Але вони не відповідають вимогам комфортності проживання, екологічної чистоти, санітарно-гігієнічним обмеженням, вимогам архітектурної ви-

разності. Конструкція будівель каркасно-панельної системи забезпечує їх високу об'ємно-планувальну комбінаторіку, розподіл несучих і огорожувальних функцій елементів відповідно до фізико-механічних характеристик використаних для них матеріалів, досить просту адаптацію їх у новому будівництві та реконструкції, у тому числі, в особливих умовах. Разом з тим, вузли з'єднання збірних елементів на монтажі досить складні, матеріалоємні і тільки частково забезпечують включення окремих конструктивів у просторову роботу споруди. Крім того, технологіям виготовлення виробів даних систем властиві всі відомі недоліки виробництва збірного залізобетону. Традиційне, зворотне проектування, лише подекуди може задовольнити увесь спектр нормативних вимог, а також мінімізувати витрати основних матеріалів, затрати на зведення та експлуатацію споруди. Застосування методів прямого, тобто оптимального, проектування при створенні розглядуваних систем істотно обмежене внаслідок використання, переважно, універсальних, а не проблемно орієнтованих каркасних конструкцій і великої розмірності відповідної оптимізаційної задачі, викликані її багатофакторністю. Багатофакторність, в свою чергу, є наслідком складності топології процедури проектування у всіх розділах, включаючи архітектурно-конструктивний та інженерний. З урахуванням сказаного, можна констатувати, що у вітчизняній будівельній практиці сьогодні відсутні розвинуті економічні, висококомбінаторні, енергетично та екологічно позитивні індустріальні системи, що забезпечували б високий інтегральний рівень зводимої споруди. Відсутні ефективні методи прямого проектування складних систем, що враховують не тільки вимоги інженерного й економічного характеру, але й особливості деформування матеріалів, з яких виготовлені несучі й огорожувальні конструкції. Відчувається відсутність потрібної кількості експериментальних натурних досліджень, особливо, для конструктивних систем з оптимізованими параметрами. Потребує удосконалення для зниження енергоємності та підвищення екологічної доцільності технологія виробництва елементів збірного залізобетону. Відсутні технології транспортування та мон-

тажу збірних залізобетонних елементів, що виключають виникнення ситуацій, які призводять до зростання динамічних ефектів при їх проведенні.

Однак, неправильними були б відмова від існуючих методів і засобів спорудження будівель і перехід до нетрадиційних технологій, що потребують великих стартових асигнувань, включаючи валютні. У зв'язку з цим є доцільною побудова наукового напрямку, що обґрунтовує введення стадії перехідного етапу. У рамках цієї стадії повинні знайти місце як несправедливо забуті й втрачені технології, так і розумне поєднання відомого й нового.

Дослідження, проведені Байковим В.М., Вахненко П.Ф., Дроздовим П.Ф., Диховичним Ю.А., Клейнлогелем А., Коляковим М.І., Кривошеевим П.І., Михайловим В.В., Немчиновим Ю.І., Пеньшиним Л.Л., Пицольдом Т.М., Поляковим С.В., Савицьким М.В., Семченковим О.С., Фомицею Л.М., Ханжі В.В. та іншими, проекти та споруди останніх десятиріч продемонстрували суттєві переваги каркасних систем для спорудження об'єктів житла та соціальної культури. Як відомо, каркасна схема будинку забезпечує диференціацію конструкцій, що виконують несучу й огорожувальну функції, і допускає вільне планування, легку реконструкцію інтер'єрів, добру адаптацію до складних умов будівництва та багато іншого. Одним з головних питань при проектуванні будівель і споруд із збірних конструкцій є з'єднання окремих елементів на монтажі у системи, що деформуються як квазімонолітні. Але традиційні рішення можуть лише у досить вузькому діапазоні компоновок і навантажень забезпечити просторову роботу конструкції. У зв'язку з цим діючи норми дуже обережно визначають ситуації, що дають можливість враховувати взаємний вплив окремих збірних елементів. Сказане стало причиною створення нового підходу, заснованого на розроблених прийомах і принципах, що забезпечують деформування конструкцій заданим априорі чином, у тому числі допускають максимальне включення у просторову роботу елементів, які є складовою частиною конкретної системи. Ці принципи дозволяють на стадії постановки спростити багатокритеріальну задачу оптимізації за рахунок регулю-

вання напружено-деформованим станом системи, породжуючи тим самим обґрунтований компроміс. Рішення, що формуються таким чином, задають нові типи конструкцій, які є відображенням одночасно використуваних методів оптимізації і управління. Зокрема, архітектурно-будівельна система "РАМПА" (аббревіатура: рамка-панель) створена на основі сформульованих вище принципів і призначена для проектування та спорудження житлових будинків, готельних комплексів, офісів, мотелів, об'єктів соціальної побутової та охорони здоров'я, трьох-чотирьохповерхових гаражних стоянок для легкового автотранспорту, котеджів, лікувально-оздоровчих споруд та інших об'єктів житлово-цивільного призначення. Вона побудована за принципом органічного поєднання кращих якостей каркасної і безкаркасної систем (рис.1). Основою цієї системи є каталог її виробів, що виготовляються із збірного залізобетону. Каталог має кінцевий набір елементів, що породжують нескінченно велику варіантність їх об'єднання у просторові композиції. До цих елементів відносяться плоскі рамки-панелі і панелі перекриття. Рамки-панелі розташовуються в будівлі у двох напрямках, утворюючи складові стояки віялового, квадратного, хрестового, таврового або кутового перерізу. При цьому, панелі створюють замкнуті опорні контури, що дозволяє найбільш економічно конструювати такі матеріалоемні згинальні елементи системи як ригелі і плити. Прийняте розчленування системи з подальшим об'єднанням в будівельних умовах у просторовий складовий каркас дає змогу виготовляти, транспортувати і монтувати великорозмірні елементи невеликої ваги, використовуючи для з'єднань мінімум матеріалу при незначних трудоватратах, сумірних з монолітним будівництвом. Статичні й динамічні горизонтальні навантаження сприймаються дисками перекриття, жорсткість яких у своїй площині створюється за рахунок жорсткості ригелів, жорсткості панелей перекриття, замонолічування швів і встановлення листових шарнірів. Листові шарніри допускають вертикальні переміщення кутів панелей перекриття при нерівномірних вертикальних переміщеннях каркаса, виключаючи тим самим їх роботу як шпонок. Це істотно знижує витрачання арматури на панель перек-

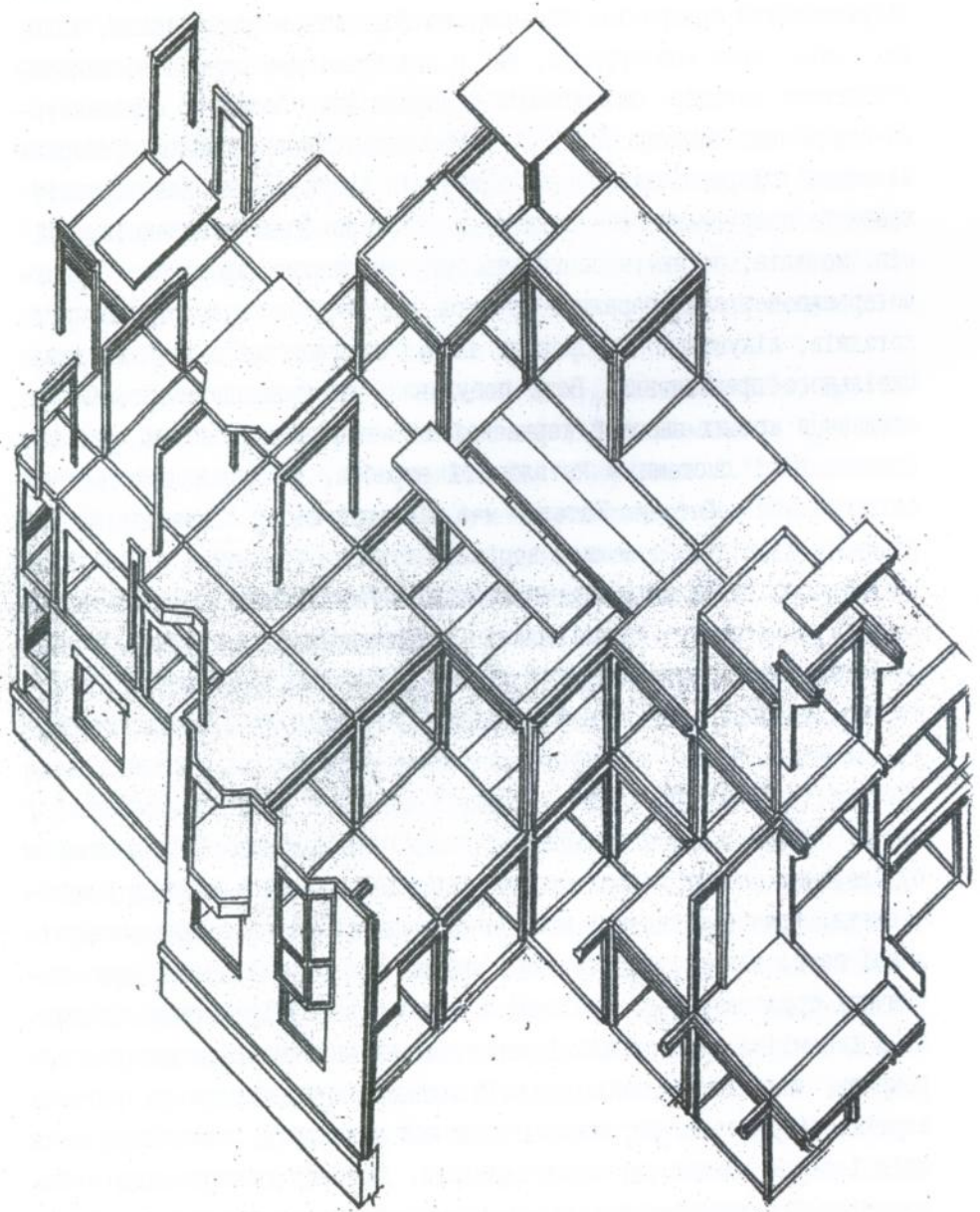


Рис. 1. Каркасно-панельна система "ФРАМПА"

риття. Податливі зв'язки стоеків, об'єднуючи рамки в просторову систему, дозволяють максимально перерозподілити навантаження, включаючи в роботу усі елементи каркаса. При цьому, утворені подібним стикуванням складові колони мають кількість віток тим більшу, чим більша припадає на них вантажна площа від вертикального навантаження. Отже, в разі використання податливих зв'язок, сприйняття горизонтальних і вертикальних навантажень здійснюється диференційовано і каркас чинить опір зовнішнім впливам як спеціальна просторова складова пластинчасто-стрижньова система.

Будівельна система "ІКАР" (аббревіатура: індустриальний каркас) призначена для зведення громадських, а при необхідності, і житлових будинків (рис.2). Як і в системі "РАМПА" остов будівлі цієї конструкції являє собою просторовий каркас. Відмітною особливістю системи "ІКАР" є відсутність в її каталозі плоских великогабаритних елементів типу рамок-панелей і панелей перекриття "на чарунку". У цьому розумінні каталог більш традиційний і складається з колон, ригелів, а також плит спеціального виду. Прийняте розчленування елементів на збірні має ряд переваг порівняно з каркасом "РАМПА". До них слід віднести збільшення розмірів чарунків і висоти поверхів, відсутність необхідності транспортувати великогабаритні елементи, підвищення етажності споруди. Разом з цим застосування системи "РАМПА" для паркової архітектури, високощільної забудови, комфортного житла, її точний, швидкий, простий монтаж та малі витрати матеріалів надають їй висококонкурентні якості щодо споруд названого класу.

Система "ІКАР", як і система "РАМПА", має проблемно орієнтовану область використання. Вона побудована на тих самих основних принципах, включаючи ідеологію розробки конструкцій та її вузлів. Однак, спорудження будівлі з великими прольотами та підвищеною етажністю визначає власні нюанси при конструюванні цього каркаса.

Будівля з елементів "ІКАР" має встановлені по осях просторового каркаса залізобетонні колони висотою на поверх, ригелі таврового перерізу, плити перекриття, які оперті на полки ригелів, а

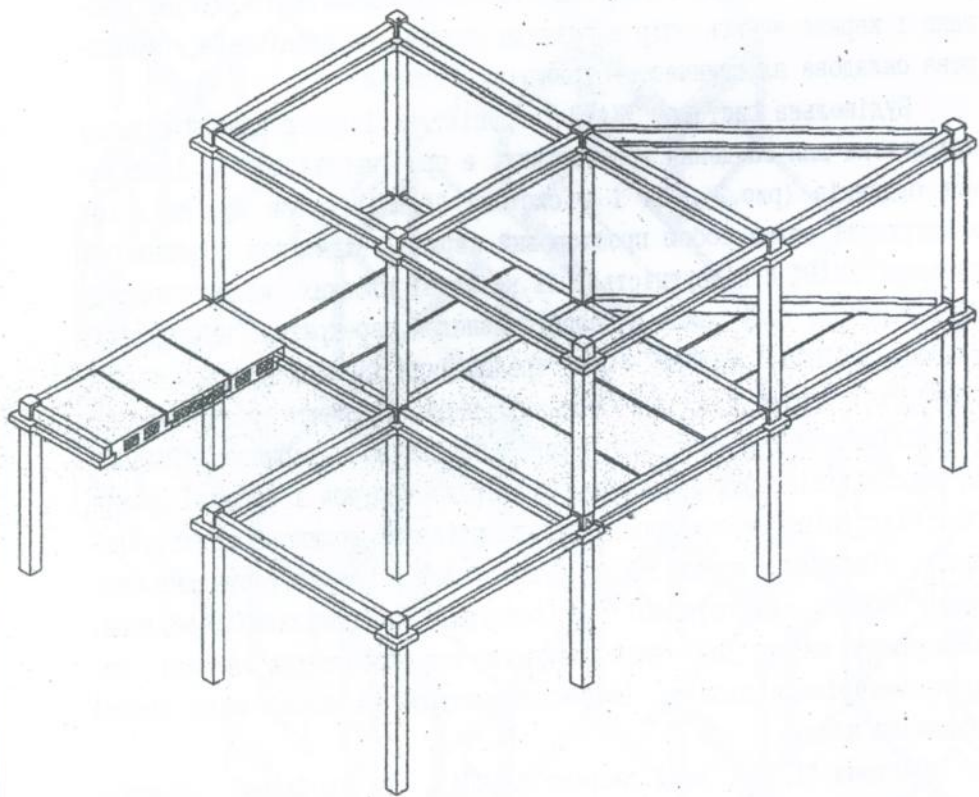


Рис.2. Каркасна будівля "ІКАР"

також вузлові металічні елементи. Консоль колони зроблено у вигляді коміра, на яку оперти ригелі. Вузлові металічні елементи мають коробчатий переріз, що охоплює поперечний переріз колон, і забезпечені горизонтальними пластинами, які з'єднані з ригелями. Плити повернуті в кожній чарунці каркаса на кут  $90^\circ$  відносно елементів сусідніх чарунок. У кожній чарунці каркаса крайні елементи перекриття оперті зовнішньою поздовжньою крайкою на ригелі і всі елементи по контуру чарунки об'єднані між собою та ригелями листовими накладками, розташованими на верхній поверхні. Кожна чарунка каркаса перекрита непарною кількістю елементів. Обпирання елементів перекриття один на одного здійснюється від центра чарунки до контура. При цьому, елементи перекриття по своїй верхній поверхні з'єднані між собою листовими накладками в окремих точках, розташованих уздовж лінії дії максимальних крутних моментів. Укладання в кожен чарунку непарного числа плит і вказана послідовність їх монтажу викликані прагненням повноцінного "поетажного" включення в роботу всіх елементів при дії постійного навантаження. Крім того, для сприйняття швами перерізуємих зусиль різних знаків, бокові крайки верхніх частин поздовжніх країв плит та ригелів забезпечені утворювачами шпонок. Відмінністю від традиційних рішень тут є розташування шпонок у стиснутій зоні диска перекриття, що разом з вказаними вище конструктивними особливостями підвищує експлуатаційну надійність системи.

Можливості системи розширені завдяки новим типам плит та панелей перекриття. Ці елементи виконуються з легкого бетону і мають укладки-пустотоутворювачі з ефективних матеріалів. Диски перекриття будівлі можуть бути зроблені у вигляді панелі на "чарунку" або із спеціальних елементів. В останньому випадку, плити об'єднані між собою монолітними шпонками, листовими накладками всередині чарунки і накладками на контурі. Крім цього, елементи перекриття мають прямокутні виступи для обпирання один на одного і на ригелі, що ефективно при сприйнятті горизонтальних навантажень. Таке рішення забезпечує також плоску стелю в інтер'єрі. Ця складова пластинчасто-

шарнірна система займає деяке проміжне місце, щодо величини абсолютних значень переміщень та зусиль між суцільними контурними та балочними плитами. До того ж, у роботі показано, що значення зусиль і переміщень у цих конструкціях ближчі за величиною до зусиль та переміщень контурно обпертих панелей перекриття. Останнє є наслідком розробленого нами підходу, застосування якого дає змогу формувати системи, що чинять опір зовнішнім впливам заданим априорі чином. Далі в роботі запропоновано нові ефективні конструкції стін. Для них, як і для розглядуваних систем в цілому, розроблено нові патентночисті технології виготовлення елементів та виробів. Крім того, технологічні процеси орієнтовано на мінімізацію їх енергоємності та вартості. Методологія розробки конструктивної системи передбачає підпорядкування технологічних вимог вимогам, що ставляться до конструкції в експлуатаційному випадку.

Для виявлення специфічних особливостей деформування розглядуваних систем побудовано математичні моделі підвищеної коректності, інформаційне наповнення яких здійснено на основі експериментально-теоретичного підходу, запропонованого та обґрунтованого у даному дослідженні. У рамках процедури збирання інформації її детермінована частина формується теоретичним шляхом, а стохастична – експериментальним. До останнього належать дослідження морозо й вогнестійкості, тривалої міцності та деформативності розроблених плит і панелей перекриття. Важливою ланкою пропонованого підходу є репрезентативне відсівання вхідної інформації і оптимізація її обсягу та подання. Ці вимоги, як показано в роботах Аргириса Д., Варвака П.М., Городецького О.С., Деклу Ж., Зенкевича О.Б., Ржаницина О.Р., Розіна Л.А., Тимошенко С.П. та інших, повністю задовольняє кінцево-елементне моделювання. Позитивною обставиною тут є наявність його програмної реалізації у вигляді обчислювального комплексу "МІРАЖ", мова якого і використана для опису формованих та досліджених систем. Методологія прямого проектування цих систем у викладеному підході будується як набір обробних обчислювальних та інформаційних процедур. В їх основі лежить як застосування існуючих програмних

продуктів, так і створення нових. Останнє викликано необхідністю зменшення часу обробки інформації і прагненням до раціоналізації параметрів конструктивної системи. Так, для зменшення розмірності розв'язаної системи рівнянь, що описують вигин тонкої пластини змінної жорсткості, введено новий тип суперелемента. Вирішення задачі будується методом перевизначених колокацій. Як базисні функції взято бігармонічні функції у системах полярних координат. Полюси їх розміщуються у самій розглядуваній області (головна система відрахунку) і у внутрішніх, додаткових до неї областях (місцеві системи відрахунку) так, що загальне число систем координат дорівнює порядку зв'язності області.

Таким чином, рішення має вигляд

$$W = W(p) + W(c) + W(\text{част}), \quad (1)$$

де

$$W(p) = \sum_{k=0}^{\infty} \left[ (A_k r^k + B_k r^{k+2}) \cos k\gamma + (C_k r^k + D_k r^{k+2}) \sin k\gamma \right],$$

$$W(c) = \sum_{i=1}^M \left[ C_{0i} \rho_i^2 \ln \rho_i + K_{0i} \ln \rho_i + (C_{1i} \rho_i^{-1} + K_{1i} \rho_i \ln \rho_i) \cos \theta_i + \right. \\ \left. + (C'_{1i} \rho_i^{-1} + K'_{1i} \rho_i \ln \rho_i) \sin \theta_i \right] + \sum_{i=1}^M \sum_{n=2}^{\infty} \left[ (C_{in} \rho_i^{-n} + K_{in} \rho_i^{-n+2}) \cos n\theta_i + \right. \\ \left. + (C'_{in} \rho_i^{-n} + K'_{in} \rho_i^{-n+2}) \sin n\theta_i \right],$$

де  $W(p)$  - регулярна частина рішення;

$W(c)$  - сингулярна частина рішення;

$W(\text{част})$  - окреме рішення;

$r; \gamma$  - полярні координати в головній системі відрахунку;

$\rho_i; \theta_i$  - полярні координати в місцевих системах відрахунку;

$A_k; B_k; \dots; K_{in}$  - коефіцієнти, що підлягають визначенню.

Підстановка (1) в оператор и крайові умови задачі, приводить

до матричного рівняння:

$$G^T \cdot G \cdot X = G^T \cdot P, \quad (2)$$

де  $G$  - перевизначена матриця, елементи якої дорівнюють значенням базисних функцій регулярної і сингулярної частин рішення (2) у заданих точках області та границі;

$G^T$  - її транспонована матриця.

$$X^T = \{A_0; B_0; A_1; B_1 \dots K_N\},$$

$$P = \begin{pmatrix} \psi_1 - B_1 \{W^{(\text{част})}, W_n^{(\text{част})}, \dots W_{nnt}^{(\text{част})}\} \\ \dots \\ \psi_L - B_L \{W^{(\text{част})}, W_n^{(\text{част})}, \dots W_n^{(\text{част})}\} \end{pmatrix}$$

$B_i$  ( $1 \leq i \leq L$ ) - деякі диференціальні оператори;

$\psi_i$  - задані функції.

Як показали численні дослідження, найбільш раціонально при запису (1) задаватися співвідношенням  $L/N \approx 1$  ( $L$  - число точок колокацій,  $N$  - число коефіцієнтів, удержуваних в (1)). У цьому випадку матриця  $G$  матиме вдвічі більше рядків, ніж стовпців. Процедура множення перевизначеної матриці на її транспоновану зліва є виразом у матричній формі метода найменших квадратів, а результат множення є симетричною квадратною матрицею ( $q_{ij} = q_{ji}$ ). Описаний метод реалізовано у вигляді програмної процедури "SLAB". Поряд з формуванням моделі в кінцеелементній формі значний інтерес становить облік специфіки деформування конструкційних матеріалів і, в першу чергу, залізобетону. Нелінійність індикаторних діаграм бетону й арматури, відображення процесу тріщиноутворення та інші особливості опору конструкцій вносять суттєві складності в розрахункові алгоритми. Розроблені Барашиковим А.Я., Биргером І.А., Бондаренко В.М., Гвоздевим О.О., Голишевим О.Б., Залесовим О.С., Ільюшиним О.О., Карпенко М.І., Климовим Ю.А., Прокоповичем І.Є., Уліцьким І.І.,

Фрайфельдом С.Ю., Шагінін О.Л., Яременко О.Ф., Яценко Є.П. та іншими методи й методики, що дозволяють одержати кінцевий і відносно надійний результат, побудовані в основному з використанням процедур послідовного аналізу. Поєднання кінцевоелементного моделювання і згаданих алгоритмів врахування вводить в розрахунок деяку специфіку, пов'язану з наступним. Стрижні, пластини та оболонки моделюються лінійно деформованими елементами із змінною жорсткістю. Далі, на підставі якого-небудь алгоритму підрахунку фізичних та геометричних параметрів, по обчисленим зусиллям на попередньому етапі знаходять їх нові значення для наступного кроку. Процедура триває до тих пір, поки зусилля, обчислені у двох послідовних циклах, не співпадуть із заданим ступенем точності. Збіжність такого процесу можна забезпечити не завжди, тому його компілюють з процедурою покрокового збільшення навантаження. Окрім створення більш стійких алгоритмів, особливо поблизу пологих ділянок діаграм "напруження-деформація", кроковий метод допускає обробку цих діаграм за наявності в них спадаючої вітки. Останнє важливо, оскільки подібну індикаторну діаграму при розтягу й стиску, як відомо, має бетон. У зв'язку із сказаним було доцільним оцінити гіпотезу О.Я. Берга про можливість застосування теорії малих пружно-пластичних деформацій для бетону. Для цього нами були проведені експериментальні дослідження поведінки бетону, що перебуває в умовах двовісного напруженого стану, а також оброблені результати аналогічних експериментів, виконаних іншими дослідниками. При аналізі зіставлялася діаграма " $\sigma_B - \epsilon_B$ ", побудована для одновісної стиснутої призми, із залежністю "інтенсивність напруження - інтенсивність деформації". При цьому, в широкому діапазоні варіювалися класи бетону і співвідношення головних напружень. У результаті був сформульований висновок про можливість прийняття для моделювання опір бетону третьої гіпотези теорії малих пружно-пластичних деформацій, у крайньому разі, до другої параметричної точки. Відзначаючи можливість прийняття її в розрахунковому апараті, слід все ж зважати на те, що при порівняно високих рівнях напруженого стану подібний підхід призводить до іс-

тотних похибок. Крім того, широке застосування гіпотези про просте навантаження для бетону потребує, очевидно, додаткових експериментальних досліджень, що базуються на статистично обґрунтованих залежностях, які приймаються у відповідних розрахунках. І все ж, прийняття подібної концепції відкриває широкі можливості для використання всього арсеналу ітераційних методів теорії пластичності. Однак, проведені рядом авторів численні дослідження вказують на два серйозних недоліки згаданих алгоритмів. Це значне зростання часу рахування при строгому опису індикаторних діаграм матеріалів і нестійкість обчислювальних процедур поблизу горизонтальних та спадаючих ділянок. У роботі запропоновано усувати ці недоліки шляхом встановлення зв'язку між деформаціями  $\epsilon_B$  та напруженням  $\sigma_B$  (інтенсивністю деформацій та інтенсивністю напружень). Він має вид

$$\sigma_B = \frac{\alpha z}{z^2 + \beta z + 1}, \quad (3)$$

де  $\alpha = E_B \cdot \epsilon_u$ ;  $\beta = \frac{\alpha}{R_B} - 2$ ;  $z = \frac{\epsilon_B}{\epsilon_u}$ ;  $E_B$  - початковий модуль деформацій 1-го роду;  $R_B$  - тимчасовий опір;  $\epsilon_u$  - гранична деформативність. Залежність (3) з високою точністю апроксимує діаграми стиску і розтягу для бетону. Її відмітними й важливими для побудови стійких обчислювальних процедур властивостями є

- компактність, простота й можливість врахування спадаючої вітки на індикаторній діаграмі;

- використання для описання обмеженого числа добре вивчених параметрів;

- можливість побудови зворотного до (3) оператора  $\epsilon_B = f(\sigma_B)$ ;

- інтегрованість (3) в замкнутому вигляді.

Компактність і простота дозволяють на кожному кроці алгоритму послідовно і при невеликій кількості обчислювальних операцій здійснювати підрахунок напружень у заданих точках, що, зрозуміло, зменшує час рахування. Використання в (3) добре відомих характеристик

матеріалу допускає проведення аналізу напружено-деформованого стану конструкції залежно від різних факторів (швидкість и характер навантаження, час, властивості зовнішнього середовища та багато іншого).

Зворотний до (3) оператор має вигляд

$$z_{1,2} = -\Omega \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \Omega^{-2}} \right], \quad (4)$$

$$\forall \Omega \in \left\{ \Omega < 0 \wedge 1 \leq |\Omega| < \infty \right\} : z(\Omega), \text{ а } \Omega = \frac{\alpha}{2R_B} \left( 1 - \gamma^{-1} \right) - 1; \quad \gamma = \frac{\sigma_B}{R_B},$$

Застосування (4) є ключем до побудови стійкої обчислювальної процедури поблизу екстремальної точки діаграми та на її спадяючій вітці. Останнє реалізується завдяки можливості покрокового здійснення контролю величини деформації відповідно до слідуючих виразів

$$\varepsilon_B \leq \varepsilon_1 \vee \varepsilon_1 < \varepsilon_B \leq \varepsilon_2 \vee \varepsilon_B > \varepsilon_2,$$

де  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  - деформації, що визначаються згідно (4).

Описаний алгоритм реалізован у вигляді програмного модуля в комплексі "МІРАЖ".

Процес проектування будівельних систем, як відомо, є багато-критеріальним і багатофакторним. При цьому, часто треба підпорядковувати рішення, які приймаються, суперечливим вимогам, що виключають одна одну. Це зменшує ефективність застосування методів оптимізації у традиційних постановках, властивих переважно задачам поліпшення характеристик окремих, нехай навіть і складних, конструктивів. Тому, в основу запропонованої модифікації методу прямого проектування покладено наступне:

- використання нагромадженого інженерного досвіду та інтуїції, при чому у формі звичній для інженера;
- застосування відомих рішень задач механіки деформованого твердого тіла і теорії конструкцій;
- пошук рішення на основі "конструювання" напружено-деформованого стану системи або елементів;
- формулювання умов, що забезпечують раціональний розподіл в

конструкції зусиль та переміщень;

- можливість, у певних випадках, зведення векторної оптимізації до скалярної.

Проектування систем та елементів із заданим видом напруженого стану при дії експлуатаційних навантажень має певну специфіку. У даному випадку вона полягає у самій постановці проблеми. Зміст її зводиться до введення поняття "еталонного напружено-деформованого стану" конструкції. Інакше кажучи, при формуванні задачі оптимізації додатково вводяться обмеження (або критерії), що відтворюють вимоги рівності переміщень і (або) силових факторів заданим апріорі. Такий підхід містить в собі, на перший погляд, деяку суперечність. Проте, ранжування пріоритетів у багатокритеріальних і багатofакторних задачах на стадії їх постановки може приводити до результатів, що відрізняються в кращий бік від відомих, причому не тільки кількісно, але й якісно. Резюмую, можна констатувати, що таке формулювання є спробою об'єднання задачі оптимізації параметрів конструкції і задачі пасивного регулювання її напружено-деформованого стану. Звичайно, максимального ефекту можна досягти при активному регулюванні характеристик елемента. Однак, цей напрямок у будівельній практиці тільки зароджується. Відомі лише окремі приклади конструкцій-механізмів (наприклад, системи з регульованим переднапруженням). Але і пасивне управління може надати можливості підвищення ефективності рішення при застосуванні загальноприйнятих конструктивних параметрів. У цій роботі створена методологія пошуку оптимальних параметрів конструкції при заданому розподілі компонентів напружено-деформованого стану. Основним питанням при такій постановці є вибір "еталонного" вигляду напружено-деформованого стану. У загальному випадку, процедура попереднього задання деформацій у конструкції або внутрішніх силових факторів може здійснюватися подвійно. Найбільш загальним тут є проведення попереднього аналізу з використанням, по-перше, наявного досвіду, а, по-друге, теоретичне дослідження конструкції більш простої структури, виявлення раціонального розподілу компонентів напружено-деформованого

стану для якої можна знайти досить легко. Далі цей розподіл приймають за "еталонний", а в розглядувану задачу оптимізації, окрім основних, вводять додаткові обмеження у формі рівностей, що мають вигляд у матричній формі

$$A - B = 0, \quad (5)$$

де  $A$  и  $B$  - прямокутні матриці порядку  $m \times n$ ;

$a_{ij} = a_{ij}(\vec{x})$  - невідомий деформаційний або силовий фактор (елемент матриці  $A$ );

$\{\vec{x}\}$  - вектор управляючих параметрів;

$b_{ij}$  - "еталонне" значення фактора (елемент матриці  $B$ );

$j$  - номер перерізу ( $1 \leq j \leq n$ );

$i$  - номер фактора ( $1 \leq i \leq m$ ).

Фізично (5) виражає вимогу рівності шуканого  $i$ -го силового фактора у перерізі  $j$  заданому. Замість компонентів напружено-деформованого стану в (5) можуть бути присутні зовнішні сили або геометричні характеристики, які визначають місце розташування навантажень на елементі. Введення обмежень (5) дозволяє багатокритеріальну задачу звести до однокритеріальної.

Іншою можливою формою задання виду напружено-деформованого стану конструкції є:

$$a_{ij}(\vec{x}) \rightarrow \inf \quad (6)$$

У цьому випадку, запропонований підхід приводить до деякої багатокритеріальної задачі умовної оптимізації, в якій поряд з традиційними критеріями вводяться додаткові, за типом (6). Принциповим, у межах даного підходу, є питання призначення величин, що входять у (5) і у (6). В першу чергу, має сенс тлумачити їх як умови безмоментності напруженого стану або як умови, що відтворюють трансформацію одного виду напружено-деформованого стану в інший. У зв'язку із сказаним, в роботі сформульована і доведена теорема, що є узагальненням постулату В.Г. Шухова, результат якої можна подати у вигляді:

$$A_N \leq A_{NM} < A_M \quad (7)$$

де  $A_N$  - потрібна площа центрально стиснутого рівномірного стрижня, матеріал якого по різному чинить опір розтягу й стиску;

$A_{NM}$  - те саме, позацентрово стиснутого;

$A_M$  - те саме, згинального.

З умов (7) випливає, що трансформація деформації згину у позацентровий стиск, а позацентрового стиску у центральний для матеріалів типу бетон дає мінімальну витрату матеріалів. Зрозуміло, що усе сказане має сенс у випадку наявності відповідних управляючих параметрів. Таким чином, запропонований підхід зводить проблему до деякої оптимізаційної задачі, у зв'язку з чим для її рішення може бути застосован весь арсенал існуючих методів. У роботі, однак, запропоновано спрощений прийом вирішення багатокритеріальних задач. Численні постановки й методи розв'язання задач оптимізації здійснені Абовським Н.П., Арора Я., Баничуком М.В., Белманом Р., Виноградовим О.І., Зенером К., Канторовичем Л.В., Моїсєєвим М.М., Рожвани Д., Складневим М.М., Трофимовичем В.В., Федорюком М.В., Черноусько Ф.Л., Шенлі Ф.Р., Шимановським В.М. показують у повній мірі неможливість побудови загальних підходів з використанням яких-небудь універсальних методів. У той же час, розгляд задач оптимального проектування та конструювання із застосуванням розрахункових моделей підвищеної коректності призводить до необхідності урахування великої кількості параметрів, що входять до функціоналів нелінійним чином. Проте, при робочому проектуванні доводиться в більшості випадків оперувати з неопуклими функціоналами. Картина суттєво ускладнюється, якщо глобальні екстремальні значення функціонала володіють кратністю або утворюють континуум значень. Неопуклість функціоналів значно ускладнює розв'язання задачі. У розглядуваній роботі пропонується рішення задачі визначення глобального екстремуму та його координат для подібних функціоналів, при цьому, в інтегральній формі. Нехай треба максимізувати (мінімізувати) функцію

$$f(x) \rightarrow \max (\min) \quad (8)$$

при обмеженнях

$$Q_j(x) \leq B_j, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad x \in \Omega$$

де  $\Omega$  - замикання області в  $R^n$ ,  $f(x)$  визначене на  $\Omega$  и  $\forall p > 0$   
 $f(x) \in L^p(\Omega)$ ;

$Q_j(x)$  - матриця обмежень;  $B_j$  - заданий вектор.

Рішенням (8) буде

$$\lim_{\substack{p \rightarrow \infty \\ x \in \Omega}} \left[ \frac{\int_{\Omega} q(x) f^p(x) dx}{\int_{\Omega} q(x) dx} \right]^{\frac{1}{p}} = \max |f| \quad (9)$$

$$\lim_{\substack{p \rightarrow \infty \\ x \in \Omega}} \frac{\int_{\Omega} x_j(x) f^p(x) dx}{\int_{\Omega} f^p(x) dx} = x_j^* \quad (10)$$

де  $q(x)$  - вагова функція;  $x_j = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*\}$  - координати точки максимуму. Вирази (9) та (10) стали основою розробленого численного методу, застосованого при оптимізації параметрів обговорюваних систем.

Побудовані моделі разом з описаними процедурами обробки інформації, що задають реалізацію пропонованої модифікації теорії прямого проектування, дозволили створити апарат розробки великих будівельних систем, включаючи вказані вище.

Для остаточних висновків про поведінку під навантаженням запропонованих конструкцій, а також дотримувачись методології нашого підходу, був обґрунтован і проведений комплекс натурних експериментів. Їх постановка надто важлива для елементів, запроєктованих на основі прямого методу, тобто, маючих оптимізовані параметри, оскільки опір оптимізованих систем відрізняється певною специфікою. Крім цього, потребують перевірки теоретичні висновки та сфор-

мульовані принципи проектування. Але якщо експериментальне дослідження окремих оптимізованих елементів є складною процедурою, то натурні випробування будівель з оптимізованими параметрами містять в собі значні труднощі. У першу чергу, це стосується системи вимірювання. Складність проблеми тут викликана необхідністю оперативного зняття різнобічної інформації у великому числі точок з її одночасною обробкою. У зв'язку з цим нами був обгрунтован, складен, адаптован і допрацьован комплекс технічних і програмних засобів автоматизованої системи наукових досліджень, який можна застосовувати як універсальний. З його допомогою та з використанням спеціально розроблених систем навантаження були проведені:

- випробування двоповерхового фрагменту каркаса при дії вертикальних статичних навантажень; виявлено особливості деформування системи в цілому, а також окремих її елементів та вузлів; оцінена спільність роботи збірних конструкцій, податливість з'єднань, несуча здатність конструктивів;

- випробування 3-поверхового фрагменту каркасно-панельної системи та 2-поверхового фрагменту зв'язкової каркасної системи на дію статичних та квазідинамічних горизонтальних навантажень; експериментально оцінені жорсткість названих систем, їх динамічні характеристики, податливість стиків;

- визначено вектори переміщень (лінійних та кутових) вузлів каркасів при дії прикладених центрально і позацентрово відносно центра жорсткості зосереджених горизонтальних сил;

- комплекс вогневих випробувань на фрагментах будівель, зібраних з конструкцій нового типу; експериментально оцінено вогнестійкість конструкцій, їх поведінка в екстремальних умовах "реальної" пожежі, санітарно-гігієнічна позитивність, доцільність використання після дії вогню;

- комплекс експериментальних досліджень ефективних легкобетонних панелей перекриття при дії вертикальних навантажень і вимушеного осідання опор; досліджено тріщиностійкість конструкцій, встановлено їх несучу здатність, виявлено схеми руйнування; крім цього

оцінено також міцність плит при повторних навантаженнях та їх залишкова міцність після спільної дії силових і вогневих навантажень.

Шляхом зіставлення теоретичних та експериментальних характеристик зроблено висновки про строгість побудованих математичних моделей об'єктів дослідження, запропонованих процедур обробки інформації, придатності їх у робочому проектуванні. На підставі аналізу результатів натурних експериментів одержано інформацію про поведінку цілого ряду окремих оптимізованих конструкцій та систем в цілому, що перебувають в умовах різних завантажень. Зроблено висновок про надійність розроблених архітектурно-будівельних систем.

Впровадження результатів розробки та дослідження просторових каркасних систем багатокритеріальної відповідності здійснювалось:

- через проектування;
- шляхом відпрацювання технології виготовлення елементів каталогів збірних залізобетонних виробів;
- відпрацюванням правил транспортування конструкцій і розробки для цієї мети інвентарного оснащення;
- через будівництво.

У зв'язку з цим у роботі розглянуто особливості проектування будівель та споруд, обумовлені пропонованими методиками. Особливу увагу приділено автоматизованому проектуванню, заснованому на експлуатації спеціально складеної бази знань. Запропоновано і обгрунтовано систему допусків, необхідну при виготовленні елементів та виробів. Ці правила разом з особливостями конструкцій задають технології виготовлення будівельних систем з елементів збірного залізобетону нового покоління. Розроблено патентночистий метод монтажу просторових каркасів і набір пристроїв для його здійснення з урахуванням операцій транспортування та зберігання конструкцій. Цей метод виключає виникнення зусиль та переміщень при виконанні транспортно-монтажних операцій, що перевищують зусилля та переміщення від експлуатаційних завантажень.

Запропонована модифікація методу прямого проектування, що за-

снована на побудованих основних принципах та ідеях управління напружено-деформованим станом системи, може застосовуватися не тільки при розробці різних каркасів будівель, але й для різноманітних конструкцій широкого призначення. Оперування із створеним розрахунковим апаратом дозволяє, крім вибору оптимальних характеристик елементів, генерувати нові конструктивні реалізації, що відносяться до системи в цілому, окремих елементів та вузлів. Використання цього підходу дає змогу конструкторові вибирати раціональні рішення, що базуються не тільки на інтуїції, а й на обґрунтованих вимогах найбільш сприятливої роботи матеріалів та конструкцій. Адаптація даного підходу до різних конструкцій дозволила одержати конкурентоздатні рішення, що відзначаються певними особливостями. Дослідження запроєктованих і виготовлених конструкцій, а також досвід їх експлуатацій підтвердили правильність створеного напрямку і надійність головних параметрів одержаних рішень.

Раціональне проектування просторових зв'язкових каркасів багатокритеріальної відповідності, засноване на оптимізаційному підході і управлінні напружено-деформованим станом системи, приводить до достатньо економічних рішень, що не погіршують архітектурно-художню виразність будівель. Реалізована компромісна процедура розробки цих систем, з одного боку, підтвердила наявний міжнародний досвід ефективності використання просторово-зв'язкових систем, а з другого, стала основою створення економічних конструкцій.

Суттєвий ефект при впровадженні розроблених конструктивів досягнут за рахунок формування фізико-технічних параметрів елементів за схемою "конструкція - матеріал - технологія". Основна частка економії утворюється тут за рахунок створення умов, що забезпечують, по-перше, визначення витрати основних матеріалів відповідно до експлуатаційного завантаження, а, по-друге, завдяки створенню технологій виготовлення, транспортування та монтажу, що виключають появу пікових, щодо експлуатаційного завантаження, коефіцієнтів перевантаження. Зокрема, застосування традиційних методів перевезення рамок-панелей системи "РАМПА" збільшило б витрату робочої

арматури на 19% за рахунок введення коефіцієнта перевантаження при транспортуванні  $\beta=1,6$ , а експлуатація традиційної технології виготовлення цих елементів вимагала б збільшення витрат бетону (у зв'язку із зростанням поперечних перерізів) на 20%. Застосування ж розробленої нами технології виробництва пустотілих блоків стін підвалу дозволило одержати економію бетону 23-31%, а економію вартості  $1\text{м}^3$  подібних конструкцій, щодо стандартних, 27%, що є результатом збільшення оборотності форм і зменшення енергосмності виготовлення.

Одним із найбільш матеріалоемних і дорогих елементів у будівлі є, як відомо, диск перекриття. Загальна вартість його складається з вартості виготовлення, транспортування та укладання до діла збірних залізобетонних елементів, а також з вартості об'єднання цих елементів у єдину систему та влаштування підлоги. У роботі показано, що панелі й плити пропонуєваних систем виготовляються без попереднього напруження арматури і використання пуансонної технології для створення внутрішніх порожнин. Порівняння техніко-економічних показників споруд із елементів розглядуваних систем з відомими дозволило зробити висновок про їх високу конкурентноздатність. Слід відзначити також ефективність розроблених систем щодо швидкості монтажу та мінімального значення максимальної ваги монтажної одиниці. Це дає можливість виконувати монтаж каркасів з коліс телескопічними кранами вантажопідйомністю не більш 5-7т.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Головна мета дисертації досягнута за рахунок застосування будівельних систем та елементів, створених на основі побудованої модифікації теорії прямого проектування конструкцій, що базується на методах математичного моделювання напружено-деформованого стану та оптимізації їх параметрів.

2. Розроблені проблемно орієнтовані архітектурно-будівельні системи житлових та громадських будівель засновані на реалізованих

в конструктивних рішеннях принципах формування просторових каркасів багатокритеріальної відповідності, що забезпечують високу конкурентноздатність:

- конструктивної рамно-панельної системи "РАМПА";
- зв'язкової каркасної системи "ІКАР";
- конструктивної системи для безкаркасних будівель "ДОБОЛ";
- конструкцій і засобу виготовлення ефективних стінових блоків;
- залізобетонних елементів, армованих просічним листом;

*Для інших систем:*

- прогоних побудов мостових кранів великої вантажопідйомності;
- влаштування віброзахисту будівельних конструкцій від вібродинамічного впливу.

3. Обґрунтовано, розроблено й реалізовано інваріантні відносно об'єкта досліджень методики, що включають такі компоненти:

- створення конструкцій з раціональними параметрами;
- побудова стійких алгоритмів розв'язання нелінійних задач для елементів, що перебувають у складному напруженому стані і виконані з матеріалів, які мають спадаючу вітку на індикаторних діаграмах;
- зменшення розмірності задачі пошуку компонентів напружено-деформованого стану пластинчасто-стрижньових систем, що здійснене на основі методу суперелементів у формі методу перевизначених колокацій;
- формування задач векторної оптимізації конструкцій в умовах регулювання їх напружено-деформованого стану;
- комплексне теоретико-експериментальне дослідження будівельних конструкцій, що забезпечує реалізацію логічної послідовності "конструктивна пропозиція - готова до промислової експлуатації система з позитивними параметрами"

4. Вперше створено такі конструкції

*Для каркасних систем:*

- елементи збірних дисків перекриття великих прольотів, виконані з важкого і легкого бетонів без попереднього натягу арматури, що чинять опір зовнішнім навантаженням як квазі-монолітні і забезпечують економію бетону близько 14%, сталі - близько 11% порівняно з традиційними рішеннями;
- елементи зірної рамно-панельної просторової системи, що забезпечують до 50% економії основних будівельних матеріалів щодо панельних будинків;
- ефективні стінові блоки з термічним опором не нижче  $3,5 \frac{\text{М}^2 \cdot \text{С}}{\text{Вт}}$ ;
- колони з оперезуючою просторовою консоллю, яка допускає обпирання ригелів, розташованих один до одного у взаємно-перпендикулярних напрямках або під кутом  $45^\circ$ ;

*Для інших систем:*

- конструкція моста крана великої вантажопідйомності, що має відкритий поперечний переріз і забезпечує 22% економії сталі порівняно з мостами із замкнутим профілем поперечного перерізу;
- пристрій віброзахисту будівельних конструкцій від динамічних впливів, що визначається висококонкурентними експлуатаційними характеристиками.

5. Для нових конструктивних систем та елементів у процесі досліджень здобути наступні результати:

- розроблено метод, складено алгоритми та програми визначення зусиль і переміщень у плитах із складними багатозв'язковими контурами та довільними крайовими умовами;
- доведено теорему, що обґрунтовує крайній розподіл компонентів напружено-деформованого стану в конструкції, за критерієм мінімальної витрати матеріалів;
- складено алгоритми і розроблено програмні модулі, що є надбудовами над ОК "МІРАЖ" і реалізують стійкі процедури нелінійного розрахунку пластинчасто-стрижньових систем, виконаних з матеріалів, що мають горизонтальну площадку або

- спадаючу вітку на індикаторних діаграмах;
- розроблено метод, складено алгоритми та програми визначення глобального екстремуму неопуклих функціоналів від багатьох змінних;
  - проведено комплексні дослідження розроблених конструкцій, що включають встановлення експериментально-теоретичним шляхом їх особливостей опору зовнішнім короткочасним і тривалим впливам, їх вогнестійкості, пожежної безпеки, звукоізоляційної та теплоізоляційної здатностей, морозостійкості;
  - шляхом розв'язання задач прямого проектування визначено раціональні параметри конструкції, що відрізняються поліпшеними характеристиками порівняно з аналогічними, одержаними традиційними методами оптимізації;
  - обґрунтовано й здійснено комплексні натурні випробування розроблених конструкцій з встановленням рівня навантаження, переміщень, частоти власних коливань, їх амплітуд.

6. Проведений комплекс досліджень дозволяє створювати нові архітектурні ансамблі на базі розроблених систем, а також використовувати їх при розробці нових конструкцій та елементів для житлового й цивільного будівництва.

#### ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ

##### У СЛІДУЮЧИХ РОБОТАХ:

1. Бондаренко В.М., Шмуклер В.С. Оптимальное проектирование железобетонных оболочек. // Докл. респ. конф. "Повышение качества и снижение материалоемкости строительных конструкций и изделий". - К.: Будівельник, 1974. С.10-12.
2. Бондаренко В.М., Шагин А.Л., Шмуклер В.С. Комплекс программ по расчету пологих железобетонных оболочек. // Организация и методика строительного проектирования с применением организационной и вычислительной техники. Реф. сб. - М.: ЦНИИПИАСС, 1974. - Вып.4. С.2-6.
3. Шмуклер В.С., Бондаренко В.М., Шагин А.Л. Комплекс программ

для расчета опертых по контуру пологих оболочек с учетом физической и геометрической нелинейности. - М.:ОФАП Госстроя СССР - 1975. - 110 с.

4. Шмуклер В.С., Кошмай Н.Д., Гуровая Л.А. Экспериментальное исследование деформирования бетона в условиях двухосного сжатия. //Реферат. информ. о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР. - К., 1976. - Вып.10. С.26-29.
5. Шмуклер В.С., Венцель Э.С., Вербицкий И.Л., Наконечный Ю.Е. Программное обеспечение для решения бигармонического уравнения в областях сложной формы. //Сб.науч.тр. "Применение новейших математических методов и вычислительной техники в решении инженерных задач". - М., 1976. - Вып.10. Т.ХIII. С.6-10.
6. Шмуклер В.С., Охота И.Я.О вопросах автоматизации проектирования жилых микрорайонов. //Реферат. сб. "Организация, методы и технология проектирования". - М., 1979. - Вып.12. С.14-17.
7. Шмуклер В.С., Охота И.Я., Хоменко С.Т. Технологические линии привязки типовых проектов. //Системы автоматизированного проектирования объектов строительства (САПР-ОС). - К., 1984. - Вып.1. С.27-31.
8. Шмуклер В.С. Об одной возможности оценки глобального экстремума функций качества оптимизируемых механических систем. //Проблемы машиностроения. - К., 1984. - Вып.21. С.69-75.
9. Шмуклер В.С. Глобальная оптимизация функционалов от многих переменных. //Тез. докл. Всесоюз. симпозиума "Метод дискретных особенностей в задачах математической физики". - Харьков:Изд-во ХГУ, 1985. С.168-169.
10. Шмуклер В.С., Нехороших М.Е. Универсальная графическая система вычерчивания схем и конструкций. //Системы автоматизированного проектирования объектов строительства (САПР-ОС). - К., 1985. - Вып.2. С.51-54.
11. Шмуклер В.С., Романовский С.Г. Оптимальное конструирование жилых и общественных зданий. //Сб.науч.тр. "Экономия и рациональное использование сырьевых и топливно-энергетических и других материальных ресурсов в строительстве". - Харьков, 1985. С.132-133.
12. Шмуклер В.С. Некоторые особенности расчета железобетонных элементов, подверженных изгибу и кручению. //Сб.науч.тр. "Экономия и рациональное использование сырьевых и топливно-энергетических и других материальных ресурсов в строительстве". - Харьков, 1986. С.123-124

13. Шмуклер В.С., Романовский С.Г., Гринберг Л.Н. Предельные переходы в теории глобальной оптимизации функций качества авиационных конструкций. //Сб.науч. тр. "Научно-методические материалы по прикладным методам расчета элементов авиационных конструкций". - Харьков:Изд-во ХВАУ, 1986. - Вып.2. С.36-40.
14. Шмуклер В.С., Нехороших М.Е. Программная система вычерчивания схем и конструкций. - М.:МОФАП-АСС Госстроя СССР,1986. - 64 с.
15. Шмуклер В.С. Задачи оптимального управления при проектировании железобетонных конструкций. //Сб.науч.тр. "Ресурсосбережение в проектировании и изготовлении железобетонных конструкций". - Харьков, 1988. С.9-10.
16. Шмуклер В.С., Водолазская Н.В. Численный метод решения некоторых задач глобальной оптимизации функционалов специального вида. //Сб.науч.тр."Численные методы расчета тонкостенных пространственных систем". - К.:УМК ВО, 1988. С.173-177.
17. Шмуклер В.С. Метод интегральных градиентов в оптимизационных задачах САПР. //Системы автоматизированного проектирования объектов строительства (САПР-ОС).- К., 1989. - Вып.6. С.56-62.
18. Шмуклер В.С., Складнев Н.Н., Залесов А.С., Грановский А.В. Натурные испытания 2-х этажного фрагмента здания рамно-панельной конструкции из элементов системы "РАМПА". //Строительная механика и расчет сооружений. - М., 1991, №6. С.75-79.
19. Шмуклер В.С. Оптимизация параметров конструкции ортотропной панели перекрытия. Тез. докл. Всесоюзной конференции "Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии". - Белгород, 1991. С.123-124.
20. Шмуклер В.С., Седышев Е.С. Продолжительность пожара при огневых испытаниях фрагмента здания системы "РАМПА". Сб.науч.тр. // "Повышение эффективности и надежности городского хозяйства". К.:ИСИ, 1993. - с.29-31.
21. Шмуклер В.С., Кабир Акрамул Проектирование балок минимального веса. //Сб.науч.тр. "Эксплуатация и ремонт зданий и сооружений городского хозяйства". - К.:УМК ВО, 1994. С.21-27.
22. Шмуклер В.С. Об одной возможности прямого проектирования строительных конструкций. //Матер. международ. конф. "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях". - Сумы, 1994. С.101-102.
23. Шмуклер В.С., Седышев Е.С., Волгин В.С. Огневые испытания эф-

фективной плиты с синтетическими пустотообразователями. // Матер. междунар. конф. "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях". - Сумы, 1994. С.295-300.

24. Шмуклер В.С., Седышев Е.С., Волгин В.С. Эксплуатационная надежность эффективной плиты с синтетическими пустотообразователями при высокотемпературном нагреве. // Сб. "Бюллетень технической информации Минобороны Украины". - Харьков, 1994, №4. С.15-17.
25. Шмуклер В.С., Шмуклер И.В., Седышев Е.С., Эхсанулла Анализ работы составных перекрытий специального вида. // Сб. "Бюллетень технической информации Минобороны Украины". - Харьков, 1995. С.11-14.
26. Шмуклер В.С., Седышев Е.С., Хворост В.А. Экспериментальная оценка жесткости каркасной системы "РАМПА" на действие горизонтальных нагрузжений. // Сб. науч. тр. "Эксплуатация и ремонт зданий и сооружений городского хозяйства". - К.: ИСИ, 1995. С.30-34.
27. Шмуклер В.С. Прямое проектирование некоторых видов проблемно ориентированных строительных систем. // Тез. докл. Первой Всеукраинск. конф. "Научно-практические проблемы современного железобетона". - К., 1996. С.366-371.
28. Шмуклер В.С., Тер-Степанян Э.Ш. Новая архитектурно-строительная система для жилищно-гражданского строительства. // Тез. докл. Первой Всеукраинск. конф. "Научно-практические проблемы современного железобетона". - К., 1996. С.371-375.
29. Гусаков В.Н., Шмуклер В.С. Легкие сборные железобетонные каркасы для жилищно-гражданского строительства. // Будівництво України. - К., 1996. С.2-7.
30. Шмуклер В.С. Оптимизация параметров строительных конструкций в условиях регулирования их напряженно-деформированным состоянием. // Сб. "Коммунальное хозяйство городов". - К.: Техника, 1997, №3. С.3-14.
31. Шмуклер В.С. Улучшение сходимости итерационных методов расчета железобетонных конструкций, находящихся в условиях сложного напряженного состояния. // Сб. "Коммунальное хозяйство городов". - К.: Техника, 1997, №9. С.16-21.
32. Шмуклер В.С. Рациональное конструирование некоторых видов сборных железобетонных конструкций. // Сб. "Коммунальное хозяйство городов". - К.: Техника, 1997, №10. С.37-48.
33. Шмуклер В.С., Зинченко Н.В., Эхсанулла Регулирование напряженно-деформированным состоянием элементов стыка железобетонной

колонны, усиленного металлической обоймой. //Сб. "Коммунальное хозяйство городов". - К.:Техника, 1997, №10, С.3-7.

34. Гусаков В.Н., Шмуклер В.С., Грищенко В.А. Эффективные блоки для стен каркасных зданий жилищно-гражданского назначения. // "Науковий вісник будівництва України". - Харків: Академія Будівництва України, 1997. - Вып.1. С.4-10.
35. Шмуклер В.С., Тер-Степанян Э.Ш. Конструкция и напряженно-деформированное состояние сборных железобетонных колонн нового типа. // "Науковий вісник будівництва України". - Харків: Академія Будівництва України, 1997. - Вып.1. С.29-34.
36. Шмуклер В.С., Зинченко В.Н., Эхсанулла Исследование напряженно-деформированного состояния элементов стыка колонн, усиленного металлической обоймой. // "Науковий вісник будівництва України". - Харків: Академія Будівництва України, 1997. - Вып.1. С.79-80.
37. Шмуклер В.С., Седьшев Е.С., Эхсанулла Экспериментальное исследование работы стыков колонн контактного типа. // "Науковий вісник будівництва України". - Харків: Академія Будівництва України, 1997. - Вып.1. С.80-81.

#### АННОТАЦИЯ

Шмуклер В.С. Пространственные железобетонные каркасные системы многокритериального соответствия.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения, Полтавский технический университет, Полтава, 1997.

Защищается 37 научных работ и 24 авторских свидетельства и патента, которые составляют научную основу решения проблемы по созданию систем зданий, отвечающих современным требованиям, при максимальном использовании существующей базы стройиндустрии. Предлагаемая методология является результатом специально построенной модификации теории прямого проектирования конструкций, включающей в себя математическое моделирование рассматриваемых систем, рационализацию их параметров с одновременным регулированием напряженно-деформированным состоянием.

На основе предложенного подхода созданы проблемно ориентированные архитектурно-строительные системы жилых и общественных зданий, отличающиеся высокой конкурентноспособностью. Проведен широкий круг теоретических исследований конструкций, в результате которого составлены методики, алгоритмы и программы для решения сложных нелинейных задач теории конструкций, позволяющие минимизировать время обработки информации. Разработанные программные продукты включены в вычислительный комплекс "МИРАЖ". Полученные теоретические результаты тестировались путем постановки натуральных экспериментов на конструкциях, имеющих оптимизированные параметры. Проведение

экспериментов стало возможным за счет адаптации и доработки технических и программных средств автоматизированной системы научных исследований. Осуществлено промышленное внедрение предложенных конструкций, способов их проектирования, производства, транспортировки и монтажа, обеспечивающие значительную экономию ресурсов, а также улучшенные экологические и теплозвукоизолирующие характеристики возведенных сооружений.

Ключевые слова:

Пространственные железобетонные каркасы, рамно-связевая система, прямое проектирование, регулирование напряженно-деформированного состояния, оптимизация, прочность, деформативность.

#### ABSTRACT

Shmukler V.S. Space reinforced concrete framework systems of multicriterion compliance.

The thesis for the scientific degree of doctor of technical sciences of speciality 05.23.01 - Building constructions, Buildings and structures, Poltava Technical University, Poltava, 1997.

Thirty seven scientific works and twenty four author's certificates and patents are defended. They form scientific foundation of solving the problem on creating building systems in accordance with modern requirements when maximum of existing building industry is used. Proposed methodology is the result of specially formed modification theory of construction design including mathematic modelling of considered systems, rationalization of their parameters with simultaneous regulation by strained-deformed state.

Some problematically orientated architectural building systems have been developed on the grounds of proposed approach. They are notable for their high competitive significance. A wide range of theoretical investigations of constructions was carried out which resulted in making up methods, algorithms and programmes for solving complex non-linear problems of theories, allowing to minimize treatment time information. Developed programmed products are included into calculated complex "MIRAZH". Received theoretical results have been tested by way of erection the natural experiments on constructions having optimized parameters. Carrying out experiments became possible at expense of adaptation and finishing of technical and programmed means of automatic scientific research system. The industrial introduction of proposed constructions, methods of their design, manufacturing, transportation and assembling have been realised ensuring significant saving of resources as well as improving ecologic and heat-sound insulation of erected constructions.

Active volubulary:

Space reinforced concrete framework, frame-tie system, direct design, regulation of strained-deformed state, optimization, durability, deformability.









Підписано до друку 10. 09. 97 р. Зам. 199  
Тираж - 100 пр. Умов. друк. арк. 2.0 Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

---

ТОВ "Знання LTD", Харків, вул. Артема, 32

433934

AB 38.489