

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ВАТУЛЯ ГЛІБ ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 624.072.2.016.046.2

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ  
СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ,  
ЗМІЦНЕНИХ СТАЛЬНИМ ШПРЕНГЕЛЕМ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції,  
будівлі та споруди

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 1999

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельної механіки та гідравліки Харківської державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник –

доктор технічних наук, професор

**Чихладзе Елгуджа Давидович,**

завідуючий кафедрою будівельної механіки та гідравліки Харківської державної академії залізничного транспорту.

Офіційні опоненти:

-0 доктор технічних наук, професор

**Астанін В'ячеслав Валентинович,**

професор кафедри теоретичної та прикладної механіки Київського інституту інженерів залізничного транспорту;

-1 кандидат технічних наук, доцент

**Молодченко Геннадій Анатолійович,**

завідуючий кафедрою будівельних конструкцій Харківської державної академії міського господарства

Провідна установа – Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури Міністерства освіти України

Захист відбудеться 4 листопада 1999 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий 28 вересня 1999 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук,  
доцент  
Є.М.

Єрмак

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність дослідження.** Основні напрямки прогресу у сучасних будівельних конструкціях пов'язані з проблемою більш ефективного використання міцнісних властивостей матеріалів. Використання залізобетону замість сталевих конструкцій призвело до значної економії сталі, але поставило новий ряд питань таких як зменшення розмірів поперечного перерізу, а як наслідок, і маси конструкції. Тому, поруч з пошуками успішно конкуруючих рішень в залізобетоні, велике значення приділяється розвитку інших комбінованих систем, зокрема: сталобетонних та сталезалізобетонних.

Відомо, що бетон у обоймі ефективно працює на осьовий стиск завдяки трансформації одноосового напруженого стану в трьохосовий. При згині використання прямокутного чи круглого сталобетону менш ефективно, але сталобетонні конструкції з підкріпленням, наприклад – шпренгельні системи, досить ефективні. Широке впровадження їх у практику будівництва стримується недостатньою розробкою конструкцій та вузлів, а також методів розрахунку, які б відображали особливості роботи сталобетонної балки та шпренгеля.

**Мета** дисертаційної роботи полягає в розробці конструкції балки та вузлів сполучення її елементів, а також математичного апарату розрахунку, з урахуванням особливостей деформування бетону, сталевих обойми та шпренгеля.

### **Задачі досліджень:**

1. Розробка конструкції балки, зміцненої шпренгелем, вузлів сполучення шпренгеля з балкою та елементів шпренгеля між собою.
2. Кількісна оцінка впливу різних конструкцій вузлів сполучення шпренгеля з балкою на несучу здатність конструкції.
3. Розробка конструкції попередньо напруженого шпренгеля та оцінка впливу попереднього напруження на несучу здатність балки.
4. Розробка математичного апарату розрахунку сталобетонної балки, зміцненої шпренгелем, з урахуванням особливостей деформування комбінованої балки та шпренгеля.
5. Впровадження результатів досліджень у практику проектування та будівництва.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Розроблена та експериментально обґрунтована методика розрахунку сталобетонних балок прямокутного перерізу, зміцнених шпренгелем, при короткочасному впливі з урахуванням нелінійності деформування та тріщиноутворення бетону в умовах об'ємного неоднорідного напруженого стану.
2. Розроблена нова конструкція балки, зміцненої шпренгелем.

3. Розроблено вузли сполучення балки та шпренгеля, елементів шпренгеля між собою та виконана експериментальна оцінка запропонованих рішень.
4. Розроблена конструкція попередньо напруженого шпренгеля та виконана оцінка впливу попереднього напруження на напружено-деформований стан конструкції.

**Практичне значення отриманих результатів.** Використання у практиці будівництва сталобетонних балок, зміцнених шпренгелем та інших комбінованих систем замість залізобетонних дозволяє при великих навантаженнях та обмежених розмірах перерізу збільшити прогони, що перекиваються, знизити витрати сталі та отримати значний економічний ефект.

**Впровадження.** Результати дисертаційної роботи впроваджені в проектні рішення будівництва об'єктів ПО "Південтрансбуд", на запропоновану конструкцію сталобетонної балки, зміцненої шпренгелем, отримано патент України. Під час стажування у фірмі "Emch+Berger" AG (Берн, Швейцарія) автор виконав аналіз комбінованих конструкцій, що використовуються у зарубіжному будівництві, узагальнив досвід їх експлуатації, запропонував конструктивні пропозиції до сталобетонних конструкцій, що проектуються та опробував методику розрахунку.

**Особистий внесок здобувача** визначається: виконаними експериментальними дослідженнями; аналізом характеру деформування та вичерпання несучої здатності сталобетонних балок прямокутного поперечного перерізу, зміцнених сталевим шпренгелем; розробкою математичного апарату розрахунку конструкцій, що розглядаються, з урахуванням особливостей деформування бетону, сталевих об'єктів та шпренгеля.

**Апробація результатів дисертації.** Результати теоретичних та експериментальних досліджень доповідались на науково-технічних конференціях Харківської державної академії залізничного транспорту (1995 – 1998 рр.), 40<sup>th</sup> Anniversary Congress of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) (Мадрид, Іспанія, 1999 р.).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 6 робіт.

**Обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліка використаних джерел, додатків та нараховує 160 сторінок машинописного тексту, у тому числі: 53 рисунка, 4 таблиці, 17 сторінок додатків. Перелік використаних джерел нараховує 109 праць (у тому числі 93 праці вітчизняних та 16 праць іноземних авторів).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі наведено огляд опублікованих робіт з теоретичних та експериментальних досліджень сталобетонних та сталезалізобетонних конструкцій та методів їх розрахунку. Виконано огляд основних підходів до опису процесу деформування бетону в умовах трьохосного напруженого стану.

Математичному опису основних фізичних співвідношень для бетону, сталі та інших матеріалів, а також вивченню властивостей несучих конструкцій, у тому числі конструкцій з зовнішнім армуванням, присвячені роботи Астаніна В.В., Балана Т.А., Бондаренка В.М., Гвоздева А.А., Генієва Г.А., Долженка А.А., Здоренка В.С., Карпенка М.І., Клименка Ф.Є., Козачевського О.І., Кричевського О.П., Лейтеса Є.С., Малашкіна Ю.М., Молодченка Г.А., Передерія Г.П., Пустовойтова В.П., Росновського В.А., Санжаровського Р.С., Стороженка Л.І., Суворкіна Д.Г., Судніцина А.І., Чихладзе Е.Д., Фоміна С.Л., Фоміци Л.М., Шагіна О.Л., Шимановського О.В., Шмуклера В.С., Яшина О.В., Базанта, Бреббія, Купфера, Хілсдорфа та інших.

Базуючись на вивченні нових напрямків в області удосконалення будівельних конструкцій, можливо відмітити перспективність використання зовнішнього армування, яке одночасно виконує силові, захисні, ізоляційні та технологічні функції. Практика використання конструкцій з зовнішнім армуванням у будівництві говорить, що при великих навантаженнях та обмежених розмірах перерізу вони мають переваги перед іншими типами конструкцій.

Характер деформування та вичерпання несучої здатності сталобетонних конструкцій з підсиленням, зокрема шпренгельних балок досліджено недостатньо. Не виявлено впливу шпренгеля на процес деформування та руйнування балки; не досліджено вплив попередньо напруженого шпренгеля на напружено-деформований стан балки; не оцінено вплив жорсткості вузлових сполучень на несучу здатність та деформативність балки та інше. У зв'язку з цим методика розрахунку сталобетонної балки з шпренгелем повинна урахувувати усі вищеперелічені фактори, а також особливості деформування бетону в умовах об'ємного напруженого стану та сталевий об'єми в умовах двоосового напруженого стану.

Другий розділ присвячено теоретичному дослідженню напружено-деформованого стану сталобетонної балки, зміцненої шпренгелем. Конструкція, що розглядається (рис. 1), окрім зовнішньої статичної невизначності має ще й внутрішню, що обумовлена комплексністю перерізу (бетонне ядро, сталевий об'єм). У цій конструкції розподіл зусиль обумовлюється характером зміни жорсткості сталобетонної балки.

Для визначення жорсткості виділимо з балки сталобетонний елемент одиничної довжини (рис. 2). При згині (позацентровому стиску), порушується симетрія фізичних властивостей бетону відносно нейтральної осі. Як наслідок положення її попередньо невідомо. Тому схема дії на елемент, що згинається, приймається у вигляді вимушеної деформації

$$\varepsilon_z = K \cdot x, \quad (1)$$

де  $K$  - кривизна нейтрального шару;

$x$  - відстань від нейтрального шару до волокна, що розглядається.

Розрахункові схеми об'єми та ядра у поперечному перерізі сталобетонної балки наведені на рис. 3. За невідомі сили прийняті дотичні  $X_\lambda, X_\theta, X_{t\lambda}, X_{t\theta}$  та нормальні контактні сили  $X_i, X_j, X_{ti}, X_{tj}$ . Вважаємо, що матеріал об'єми має властивості ідеальної упругопластичності. Зв'язок між напруженнями та деформаціями у бетоні для випадку простого навантаження приймаємо у вигляді закону Гука. При цьому параметри деформування: січний модуль  $\tilde{E}$  деформацій бетону при стиску (розтягненні) та коефіцієнт поперечних деформацій  $\tilde{\nu}$  залежать від стадії напруженого стану. Указані параметри приймаються у наступному вигляді:

$$\tilde{E} = \frac{9 \cdot P \cdot G}{G + 3 \cdot P} \quad (2)$$

$$\tilde{\nu} = \frac{3 \cdot P - 2 \cdot G}{2[G + 3 \cdot P]} \quad (3)$$

де  $P$  - січний модуль відносних об'ємних змінень бетону;

$G$  - січний модуль зсуву.

Контактні сили знайдемо з умов рівності переміщень на межі контакту. Математичний запис цієї умови – система канонічних рівнянь

$$A \cdot X = -H \quad (4)$$

Елементи  $(\delta_{ki} - \delta_{ki}^*)(\delta_{kj} - \delta_{kj}^*)(\delta_{k\theta} - \delta_{k\theta}^*)(\delta_{k\lambda} - \delta_{k\lambda}^*)(\delta_{kti} - \delta_{kti}^*)(\delta_{ktj} - \delta_{ktj}^*)(\delta_{kt\theta} - \delta_{kt\theta}^*)(\delta_{kt\lambda} - \delta_{kt\lambda}^*)$  матриці  $A$  являють собою різниці поперечних переміщень точки  $k$  об'єми та бетонного ядра від одиничних сил  $X_i, X_j, X_\lambda, X_\theta, X_{ti}, X_{tj}, X_{t\lambda}, X_{t\theta}$  станів. Елементи  $(\Delta_{kc} - \Delta_{kc}^*)$  матриці стовбця  $H$  - відповідно різниці поперечних переміщень об'єми та ядра від вимушеної деформації.

Поперечні переміщення  $\delta_{ki}, \delta_{kj}, \delta_{k\lambda}, \delta_{k\theta}, \delta_{kti}, \delta_{ktj}, \delta_{kt\lambda}, \delta_{kt\theta}$  визначаються у замкненому вигляді. При визначенні поперечних переміщень від системи сил  $X_i, X_{ti}, X_\lambda, X_{t\lambda}$  точки об'єми на рівні нейтральної осі вважаємо нерухомими у напрямку осі  $X$ .

Для визначення переміщень у бетонному ядрі від одиничних сил  $X_i, X_{ti}, X_j, X_{tj}, X_\theta, X_{t\theta}, X_\lambda, X_{t\lambda}$  вирішуємо плоску задачу із змінними по полю параметрами деформування  $\tilde{\nu}$  та  $\tilde{E}$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[ \frac{(1 - \tilde{\nu}^2)}{\tilde{E}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \frac{\tilde{\nu}(1 + \tilde{\nu})}{\tilde{E}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ \frac{(1 - \tilde{\nu}^2)}{\tilde{E}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \frac{\tilde{\nu}(1 + \tilde{\nu})}{\tilde{E}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x \cdot \partial y} \left[ \frac{2(1 + \tilde{\nu})}{\tilde{E}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \cdot \partial y} \right] = 0 \quad (5)$$

Поперечні переміщення обойми від поздовжніх деформацій визначаються

$$\Delta_{kc}^x = \frac{\nu_s \cdot K \cdot x^2}{2}, \quad \Delta_{kc}^y = \frac{\nu_s \cdot K \cdot x \cdot y}{2}, \quad (6)$$

де  $X, Y$  - координати точки, що розглядається.

Поперечні переміщення в ядрі від деформацій визначимо в результаті наближеного розв'язання просторової задачі

$$u = (\Delta_{kc}^*)^x = \int_0^{\ell_1} \tilde{\nu} \cdot K \cdot x \cdot dx, \quad (7)$$

$$v = (\Delta_{kc}^*)^y = \int_0^{\ell_2} \tilde{\nu} \cdot K \cdot x \cdot dy;$$

де  $\ell_1, \ell_2$  - ордината та абсциса точки, в якій визначаються переміщення.

Запропоноване рішення реалізується кроковим перебиранням деформованих станів сталобетонного елемента. Кожний деформований стан визначається кривизною. Величина кроку знаходиться залежно від величини діючого поздовжнього навантаження. В результаті в табличному вигляді отримані залежності між згинаючим моментом та кривизною в перерізі сталобетонного елемента, які використовуються для оцінки жорсткості:

$$D_i = \frac{M_i}{K_i}. \quad (8)$$

Критерієм граничного стану є досягнення у розтягненій зоні межі текучості, що визначається за Мізесом або у крайніх волокнах стислого бетону – межі міцності.

Внутрішня статична невизначність зовнішньо статично невизначної системи розкривається у єдиному процесі послідовних наближень. Поєднання процесів внутрішніх та зовнішніх ітерацій завдяки послідовним наближенням полягає: у звичайній упруголінійній постановці вирішується задана система та визначаються епюри внутрішніх зусиль; визначаються перерізи, в яких,

базуючись на зусиллях, за допомогою внутрішнього процесу ітерацій уточнюються розрахункові жорсткості; за новим законом змінення жорсткості повторюється статичний розрахунок системи з урахуванням змінності поздовж прогону розрахункових жорсткостей; за зусиллями першого наближення знов уточнюються жорсткості, а за ними знаходяться епюри зусиль у другому наближенні і т.д. до стабільної збіжності з заданою ступінню точності.

Реалізація розрахунків виконана на ПЕОМ. Програма розрахунку складається з двох блоків основної програми та пакета підпрограм. У блоках основної програми розкриваються внутрішня та зовнішня статичні невизначності системи. Основна програма здійснює ввід вихідних даних; визначення масивів змінних; визначення параметрів моделі МКР; визначення переміщень в сталій обоймі від одиничних сил станів та деформацій; визначення значень функції напруження та її похідної на контурі при довільних станах; визначення переміщень бетонного ядра від деформацій та одиничних сил; формування СЛАР методу сил з урахуванням виключення в'язів.

Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням сталобетонних балок, зміцнених шпренгелем при згині.

Сталобетонні балки довжиною  $l=1200\text{мм}$  виготовлялися з двох сталених швелерів з рівними полицями за ГОСТ 8278 – 83\* (із вуглецевої сталі) з товщиною стінки  $\delta_s=5\text{мм}$ , шириною полиці 75мм, висотою швелерів 150мм зварених між собою по поздовжній осі. Торці швелерів оброблялися на токарному верстаті.

Для виготовлення бетонної суміші складом за масою 1:1.3:2.8 при водноцементному співвідношенні 0.5 використовувався портландцемент марки 400. Заповнювачем застосовувався пісок середньої величини і гранітний щебінь фракціями 5 ÷ 10мм. Після закінчення вібрування поверхня бетону ретельно вирівнювалась, торці балки заварювалися. Твердіння зразків відбувалось в лабораторних умовах (зразки першої та другої серії) і в пропарочній камері (зразки третьої серії).

З'єднання похилих елементів двогілкового шпренгеля з сталобетонною балкою здійснено: зварним (БШ – 1) і шарнірним (БШ – 2, БШ – 3) (рис.4).

При шарнірному з'єднанні в балку під час бетонування закладався сталений круглий стержень діаметром 24мм, який потім пропускався у отвори, які малися у похилих елементах.

Інші вузли виконані в двох варіантах, у зразках першої і другої серії – зварні (рис. 5), в зразках третьої серії – шарнірні.

У цьому разі шарнірне з'єднання досягається: у вузлах примикання вертикальних стояків до сталобетонної балки шляхом приварювання у третинах прогону сталевих напівтрубок, у які вставлялися стояки, верхня частина яких мала вигляд півкола з  $r=34\text{мм}$  (рис. 6а), а у вузлах



з'єднання похилих, горизонтальних і вертикальних елементів – за допомогою круглого сталюого стержня (рис. 6б).

У одному із зразків кожної серії горизонтальний елемент виготовлявся розрізним, з зазором і забезпечувався стяжною муфтою. Це дозволило здійснити попередній натяг шпренгеля.

Для визначення міцностних і деформативних характеристик матеріалів проводилися стандартні випробування.

Шпренгель:  $\sigma_y = 306 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{ut} = 560 \text{ МПа}$ ,  $\epsilon_y = 153 \cdot 10^{-5}$ ,  $E_s = 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

$\epsilon_{ut} = 276.8 \cdot 10^{-5}$ ,  $\nu_s = 0.3$ .

Обойма:  $\sigma_y = 360 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{ut} = 580 \text{ МПа}$ ,  $\epsilon_y = 171 \cdot 10^{-5}$ ,  $E_s = 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ,

$\epsilon_{ut} = 351.2 \cdot 10^{-5}$ ,  $\nu_s = 0.3$ .

Бетон:  $R_b = 36.5 \text{ МПа}$ ,  $E_b = 25 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ ,  $\nu_b = 0.2$ ,  $\epsilon_u = 1.7 \cdot 10^{-3}$ ,

де  $\sigma_y$  - межа текучості;  $\sigma_{ut}$  - межа міцності;  $\epsilon_y$  - деформація, яка відповідає межі текучості;  $E_s$ ,  $E_b$  - модуль пружності, відповідно для сталі та бетону;  $\epsilon_{ut}$  - гранична деформація;  $\nu_s$ ,  $\nu_b$  - коефіцієнт Пуасона;  $R_b$  - міцність бетону;  $\epsilon_u$  - гранична деформація бетону.

Для вимірювання поздовжніх деформацій обойми і елементів шпренгеля використовувалися датчики омичного опору типу КФ5П.1. – 20 –100 – А – 12, які розташовувалися в обоймі у середньому перерізі по усьому периметру (на верхній і нижній гранях по 3 штуки, на боковій грані 6 штук) (рис.7а), у елементах шпренгеля – по два на кожному, з одного та другого боку і посередині елемента.

Крім того, для вимірювання прогинів сталебетонної балки використовувалися індикатори часового типу з ціною позначки 0.01мм на базі 200мм.

Випробування проводилися на гідравлічному пресі ГРМ – 1 ступенями, які складали 0.15 від руйнівного навантаження. У процесі випробувань показання тензодатчиків знімалися на кожному етапі навантаження за допомогою приладу АИД – 4. Результати випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння експериментальних і теоретичних значень несучої здатності сталебетонних балок, зміцнених шпренгелем

№ серії	Шифр зразка	Розміри поперечного перерізу	Відносна величина попереднього напруження у	Прогин мм	Руйнівне навантаження	$\frac{F_{test}}{F_{theory}}$
---------	-------------	------------------------------	---	-----------	-----------------------	-------------------------------

				похилому елементі $\sigma_0 / \sigma_y$				
		$a$ , мм	$b$ , мм			$F_{theory}$ , кН	$F_{test}$ , кН	
1	БШ – 1 – 1	150	150	-	11.34	415	440	1.06
	БШ – 1 – 2	150	150	-	11.47	415	444	1.07
	БШ – 1 – 3	150	150	0.281	11.04	437	477	1.09
2	БШ – 2 – 1	150	150	-	11.58	385	405	1.05
	БШ – 2 – 2	150	150	-	12.13	385	412	1.07
	БШ – 2 – 3	150	150	0.316	11.31	406	450	1.11
3	БШ – 3 – 1	150	150	-	13.40	349	370	1.06
	БШ – 3 – 2	150	150	-	12.87	349	360	1.03
	БШ – 3 – 3	150	150	0.346	12.35	373	410	1.10

Теоретичне навантаження отримано шляхом розрахунку сталобетонної балки на позacentровий стиск. Несуча здатність балки без шпренгеля становила 154.46 кН.

Як видно з таблиці 1 у зразках першої серії несуча здатність була вище у порівнянні із зразками другої та третьої серії. Це пояснюється більшою податливістю вузлів з шарнірним з'єднанням елементів, порівнюючи з жорстким. Руйнування зразків характеризувалося досягненням текучості обойми у стислій зоні, з наступним її випученням. Напруження в елементах шпренгеля становили 70% та 65% від межі текучості відповідно при зварному та шарнірному з'єднанні. Попереднє напруження дозволило досягнути більшої несучої здатності. При цьому руйнування відбувалося при одночасному досягненні межі текучості як в стислих волокнах обойми, так і в елементах шпренгеля. На рис.7 наводиться епюра деформацій в перерізі балки БШ – 2 – 3 у момент, який передує руйнуванню.

У четвертому розділі наводяться дані про практичне впровадження результатів дисертаційної роботи. Методика розрахунку та конструкції сталобетонних балок, зміцнених шпренгелем прийняті до впровадження у проектних рішеннях будівництва об'єктів ПО "Південтрансбуд".

Сталобетонні конструкції знайшли використання при проектуванні споруд у ряді країн Західної Європи. Так, у конструктивному рішенні фасаду при будівництві третього міжнародного аеропорту у Лондоні були використані сталобетонні конструкції з підсиленням (рис. 8).

Запропонована конструкція сталобетонної балки (рис. 9), що включає верхній 1, нижній 2 пояси, вертикальні стояки 3. З'єднання верхнього 1 і нижнього 2 поясів з вертикальними стояками 3 – шарнірне у вигляді труобетонних вкладишів 4, що пропущені в отвори у косинках 5, які являють собою продовження вертикальних граней обох поясів 1 та 2. Нижній пояс 2

виготовлено ламаним з зазором в середній частині, вертикальні стояки 3 з отворами для трубобетонних вкладишів 4. Нижній пояс 2 і вертикальні стояки 3 складають шпренгель.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблена конструкція вузлів сполучення сталобетонної балки з шпренгелем, елементів шпренгеля між собою.
2. Показано, що шпренгель з жорсткими вузлами збільшує несучу здатність, порівнюючи з балкою, яка не має підсилення, в 2.6 рази, з шарнірними вузлами – 2.4 рази.
3. Розроблена та експериментально обгрунтована конструкція попередньо напруженого шпренгеля і показано, що попереднє напруження дозволяє дістати руйнування конструкції при одночасному досягненні межі текучості, як у стислих волокнах обойми, так і в елементах шпренгеля.
4. Показано, що попереднє напруження шпренгеля збільшує несучу здатність, порівнюючи з ненапруженим шпренгелем в 1.1 рази, при приблизно однакових механічних характеристиках матеріалу обойми та шпренгеля.
5. Розроблена методика розрахунку сталобетонних балок прямокутного перерізу, зміцнених шпренгелем, при короткочасному навантаженні з урахуванням нелінійності деформування і тріщиноутворення бетону в умовах неоднородного напруженого стану.
6. Розроблена програма розрахунку сталобетонних балок, зміцнених шпренгелем, при позацентровому стиску.
7. Аналіз використання сталобетонних конструкцій з підсиленням в іноземному будівництві показав їх перевагу над іншими типами конструкцій при великих навантаженнях та обмежених розмірах перерізу.
8. На запропоновану конструкцію сталобетонної шпренгельної балки отримано патент України.
9. Методика розрахунку та конструкції сталобетонних балок, зміцнених шпренгелем впроваджено в проектні рішення будівництва об'єктів ПО "Південтрансбуд".

Основні положення дисертації опубліковані у наступних працях:

1. Чихладзе Э.Д., Ватуля Г.Л. Расчет сталобетонных колонн прямоугольного сечения на прочность при продольном изгибе. // *Залізничний транспорт України* – 1997. - № 2-3. - С. 51 – 53.
2. Чихладзе Э.Д., Ватуля Г.Л. Испытание сталобетонных шпренгельных балок // *Науковий вісник будівництва*. - Харків, ХДТУБА, ХОТВ АБУ - 1994. - Вип. 5. - С. 88-92.

3. Пат. 25695 України, МКІ Е 04 С 2/293. Сталебетонна шпренгельна балка / Э.Д. Чихладзе, Г.Л. Ватуля (Украина). - №97063249; Заявлено 27.06.97; Опубл. 25.12.98; Бюл. №6.
4. Ватуля Г.Л. Экспериментальные исследования механических свойств сталебетонных брусьев прямоугольного сечения, усиленных шпренгелем // Залізничний транспорт України. - 1998. - №4-5. - С. 40-41.
5. Ватуля Г.Л., Петров А.Н. Новые прогрессивные решения конструкций междуэтажных перекрытий и ферм покрытия из сталебетона: Информационный листок ИЛ№ 171-94. - Харьков, 1994. - С.1-3.
6. Ватуля Г.Л. Напружено-деформований стан сталебетонних балок, зміцнених шпренгелем // Тез. доп. 57-ї наук.-техн. конф. кафедр ін-ту та спеціалістів залізн. тр-ту з міжнародною участю. - Харків, 1995. - 43 с.

### АНОТАЦІЯ

Ватуля Г.Л. Несуча здатність сталебетонних балок прямокутного поперечного перерізу, зміцнених сталевим шпренгелем. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 1999.

Дисертація присвячена розробці методики визначення несучої здатності сталебетонних балок прямокутного поперечного перерізу, зміцнених сталевим шпренгелем, з урахуванням властивостей деформування бетону в умовах об'ємного напруженого стану та сталевій обійми в умовах двоосового напруженого стану. Проведено експериментальні дослідження сталебетонних балок в умовах короткочасного статичного навантаження. Основні результати роботи впроваджені у будівництво.

Ключові слова: сталебетонна балка, шпренгель, попереднє напруження, напружено-деформований стан, несуча здатність, шарнір, межа текучості.

Ватуля Г.Л. Несущая способность сталебетонных балок прямоугольного поперечного сечения, усиленных стальным шпренгелем. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. - Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 1999.

На основании анализа методов расчета сталебетонных и сталежелезобетонных конструкций сделан вывод, что вопросы расчета сталебетонных изгибаемых конструкций с

подкреплениями, в частности шпренгельных балок, изучены недостаточно. Проведены экспериментальные исследования сталебетонных изгибаемых балок прямоугольного поперечного сечения, усиленных шпренгелем, при кратковременном статическом нагружении. Испытано 9 образцов, в 3 из которых, было осуществлено предварительное напряжение шпренгеля. Разработаны узлы сопряжения балки со шпренгелем, элементов шпренгеля между собой и проведена экспериментальная оценка предложенных решений. Показано, что шпренгель с жесткими узлами увеличивает несущую способность сталебетонных балок в 2.6 раза, с шарнирными узлами – в 2.4 раза. Разрушение образцов характеризовалось достижением текучести обоймы в сжатой зоне, с последующим её выпучиванием. Напряжения в элементах шпренгеля составляли 70% и 65% от напряжений текучести, соответственно при сварном и шарнирном соединениях узлов конструкции.

Разработана конструкция предварительно напряженного шпренгеля и произведена оценка влияния предварительного напряжения на напряженно-деформированное состояние конструкции. Разрушение экспериментальных образцов произошло при одновременном достижении предела текучести, как в сжатых волокнах обоймы, так и элементов шпренгеля.

Разработана методика определения несущей способности сталебетонной балки прямоугольного сечения, усиленной шпренгелем, при кратковременном воздействии с учетом нелинейности деформирования и трещинообразования бетона в условиях объемного неоднородного напряженного состояния. Рассматриваемая конструкция помимо внешней статической неопределимости имеет еще и внутреннюю статическую неопределимость, которая обусловлена комплексностью сечения (бетонное ядро, стальная обойма). Внешняя и внутренняя статические неопределимости раскрываются в едином процессе последовательных приближений.

Реализация расчетов осуществлена на ПЭВМ. Программа расчета состоит из двух блоков основной программы и пакета подпрограмм. В блоках основной программы раскрываются внутренняя и внешняя статические неопределимости системы. Основная программа осуществляет ввод исходных данных; определение массивов переменных; определение параметров модели МКР; определение перемещений в стальной обойме от единичных сил состояний и деформации; определение значений функции напряжения и ее производной на контуре при различных состояниях; определение перемещений бетонного ядра от деформации и единичных сил; формирование СЛАУ метода сил с учетом выключения связей.

На предложенную конструкцию сталебетонной балки, усиленной шпренгелем, получен патент Украины. Методика расчета и конструкции сталебетонных балок, усиленных шпренгелем, внедрены в проектные решения строительства объектов ПО «Южтрансстрой». Анализ использования сталебетонных конструкций с подкреплениями в зарубежном строительстве

показал их предпочтительность перед другими типами конструкций при больших нагрузках и ограниченных размерах сечения.

Ключевые слова: сталебетонная балка, шпренгель, предварительное напряжение, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, шарнир, предел текучести.

Vatulya G.L. Carrying capacity of rectangular steel-concrete beam, strengthened by the steel tie-rod. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences by speciality 05.23.01 – building constructions, buildings and structures. – Kharkov State Academy of Railway Transport, Kharkov, 1999.

The dissertation is devoted to elaboration of methodology for carrying capacity determination of bending rectangular steel-concrete beam, strengthened by the steel tie-rod, taking into account peculiarity of concrete work under the conditions of three-dimensionally stressed state and steel casing - under the conditions of two-dimensionally one. Experimental researches were carried out under the short-term static loading. The basic results of the work were proposed to be used in practice.

Key words: steel-concrete beam, tie-rod, pre-stressing, stress-strained state, carrying capacity, hinge, yield limit.

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Несуча здатність сталобетонних балок прямокутного перерізу, зміцнених сталевим шпренгелем**

Ватуля Гліб Леонідович

Відповідальний за випуск  
Романенко В.В.

---

Підписано до друку 22.09.99 р.  
Формат паперу 64x84 1/16. Папір писальний.  
Друк офсетний. Умовн.-друк.арк.1,0.Обл.-вид.арк. 1,2.  
Замовлення № 424. Тираж 100 екз.

---

Вид. ХарДАЗТ, 310050, м. Харків-50, майдан Фейербаха, 7.  
Друк. ХарДАЗТ, 310050, м. Харків-50, майдан Фейербаха, 7.