

Полтавський державний технічний університет
імені Юрія Кондратюка

ШМИГ РОМАН АНДРІЙОВИЧ

УДК 691.057.1

Р.Шмиг

**МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНИХ
СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі і споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Полтава - 1997



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельних конструкцій Львівського державного аграрного університету Міністерства агропромислового комплексу України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор Клименко Федір Слисєйович, Львівський державний аграрний університет, завідувач кафедри будівельних конструкцій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Бабич Євген Михайлович, Українська державна академія водного господарства, проректор з наукової роботи; кандидат технічних наук, доцент Клименко Євген Володимирович, Полтавський державний технічний університет ім.Ю.Кондратюка.

Провідна установа: Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України, м.Львів

Захист відбудеться "27" січня 1998 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 25.01.02 в Полтавському державному технічному університеті ім.Ю.Кондратюка за адресою: 314601, м.Полтава, Першотравневий проспект, 24.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Полтавського державного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Автореферат розісланий "22" грудня 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Семко О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Здешевлення капітального будівництва можливе при широкому застосуванні несучих конструкцій із легкого бетону, який на даний час використовують головним чином для огорожувальних конструкцій. Для залізобетонних конструкцій, номенклатура і сфера застосування яких постійно розширюються, зниження вартості в основному зводиться до зменшення витрат бетону і сталі, пошуку нових конструктивних форм і проектних рішень. Одним із шляхів розв'язання цієї задачі є розробка ефективних комплексних багатошарових конструкцій, вдосконалення і розвиток методів їх розрахунку.

Завдяки цілеспрямованому вибору фізико-механічних характеристик і складу окремих шарів з важкого і легкого бетонів можна створити балкові та плитні комплексні сталобетонні конструкції, в яких повніше використовуються міцнісні, тепло- та звукоізоляційні властивості, суттєво зменшується їх маса. При цьому зовнішня стрічкова арматура одночасно забезпечує герметичність, водо- та паронепроникність, захисні біологічні та інші властивості.

Найчастіше в таких багатошарових конструкціях кожен шар проектується окремо і їх сумісна робота не враховується, що призводить до збільшення витрати матеріалів і загальної маси конструкції. В таких конструкціях, на відміну від традиційних, крім згинального моменту та перерізуючої сили суттєвим фактором є вплив зсуваючого зусилля, яке виникає в контактній площині між шарами різних матеріалів. Забезпечення їх взаємозв'язку є важливим, бо міцність і надійність такої конструкції цілком залежить від надійної сумісної роботи цих шарів.

Поєднання бетонів різного функціонального призначення за висотою перерізу в сталобетонних конструкціях із зовнішнім стрічковим армуванням ставить вперше, що сприяє формуванню балкових та плитних конструкцій підвищеної ефективності, і разом з цим розширює галузь застосування сталобетону. Влаштування середнього шару з легкого бетону разом з економією сталі дозволяє зменшити масу сталобетонної конструкції на 30-40% без зниження несучої здатності, що є важливим для народного господарства.

Мета і завдання дослідження:

- розробити конструкцію комплексних сталобетонних згинаних елементів із зовнішнім стрічковим армуванням та дослідити їх міцність і деформативність у варіантах звичайного та попередньо напруженого конструктивного виконання;
- виготовити дослідні зразки у виробничих умовах;
- провести експериментальні дослідження міцності та деформативності звичайних та попередньо напружених сталобетонних конструкцій з різними

схемами з'єднання шарів неоднакових бетонів та арматури і армуванням поздовжньою стрічковою і стержневою арматурою;

- експериментально дослідити особливості роботи та характер руйнування звичайних та попередньо напружених комплексних сталобетонних конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням;

- дослідно встановити вплив різних форм приєднання між собою неоднакових бетонів і шарів сталі на міцність, деформативність і тріщиностійкість комплексної сталобетонної конструкції та визначити крапці з них;

- дослідити роботу поперечного армування в комплексній сталобетонній конструкції, його вплив на розвиток зсувів між шарами різних бетонів та експлуатаційні якості конструкції в цілому;

- розробити математичну модель розрахунку таких конструкцій, яка б дозволяла враховувати реальні діаграми деформування матеріалів та сумісну роботу шарів і прогнозувати поведінку конструкцій під навантаженням;

- реалізувати числову модель на ПЕОМ;

- на базі математичної моделі, перевіреної експериментально, виконати числовий експеримент з метою виявлення загальних закономірностей в роботі комплексних сталобетонних конструкцій;

- розробити рекомендації та пропозиції з вибору оптимальної конструкції комплексного сталобетонного елемента.

Об'єктом досліджень є звичайні та попередньо напружені комплексні багатошарові сталобетонні балкові елементи, що працюють на згин.

На захист виносяться: конструктивні розробки, результати експериментальних та теоретичних досліджень, запропонована методика розрахунку на ПЕОМ за методом скінчених елементів комплексних сталобетонних конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням.

Основні результати і наукова новизна роботи:

- розроблено та досліджено на міцність і деформативність нові звичайні та попередньо напружені згинані сталобетонні конструкції із зовнішнім стрічковим армуванням на ділянках похилих та горизонтальних перерізів;

- вперше отримано експериментальні результати про несучу здатність, деформативність та тріщиностійкість ефективних конструктивних рішень комплексних звичайних та попередньо напружених сталобетонних згинаних елементів;

- визначено характер руйнування комплексних сталобетонних дослідних зразків;

- досліджено вплив різних схем поперечного армування на розвиток зсувів між шарами різних бетонів, деформативність та несучу здатність комплексної сталобетонної конструкції в цілому;

- вивчено роботу поперечної та поздовжньої арматури в комплексному перерізі під навантаженням;

- розроблено методику розрахунку;

- запропоновано математичну модель та реалізовано програму розрахунку на ЕОМ напружено-деформованого стану згинаних комплексних сталобетонних балкових елементів за методом скінченних елементів з урахуванням реальних діаграм деформування матеріалів.

Практичне значення роботи:

- розроблені нові прогресивні конструктивні рішення полегшених комплексних сталобетонних конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням, що мають меншу металомісткість ніж відомі аналоги;

- розроблена та реалізована на ПЕОМ методика розрахунку таких конструкцій за методом скінченних елементів, яка дозволяє моделювати їх напружено-деформований стан з урахуванням спільної роботи різних шарів та реальних діаграм деформування.

Реалізація розробок. Результати проведених досліджень та програма математичного моделювання використані при проектуванні і розробці сталобетонних конструкцій за серією 1.462.1-1/88 зі стрічковим армуванням для покрівель виробничих і цивільних сільськогосподарських будівель (робота виконана на замовлення Мінсільгосппроду України, договір №6-Б від 2 січня 1993 р.) Застосування їх передбачається під час реконструкції Дрогобицького м'ясокомбінату.

Розроблено комплексні сталобетонні конструкції, які закладені в проектну документацію ВАТ "Добротвірського заводу "Буддеталь" і будуть використані заводом у 1998-99 рр. під час реконструкції циліндрових камер теплової обробки залізобетонних конструкцій.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладений в 9 друкованих працях, обсягом 2 друкованих аркуші

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на: міжнародній науково-технічній конференції "Ресурсо-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди" (м.Рівне, 1996); ювілейній науково-технічній конференції "25 років сталобетонних конструкцій з зовнішнім армуванням" (м.Львів, 1996); науково-технічній конференції, присвяченій 140-річчю заснування ЛДАУ (м.Дуб. яни, 1996 р.), II-му міжнародному симпозиумі "Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій" (м.Дубляни, 1996 р.), міжнародній науково-технічній конференції до 125-річчя інженерно-будівельного факультету ДУ "Львівська політехніка" (м.Львів, 1997р.), міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми теорії і практики залізобетону" (м.Полтава, 1997р.), науковій конференції, присвяченій першій річниці Львівського державного аграрного університету, наукових

семінарах кафедри будівельних конструкцій ЛДАУ (квітень 1995 р., жовтень 1996 р., березень 1997р.).

Обсяг виконаної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, основних висновків, списку літератури та додатків. Робота викладена на 221 сторінці, з них 112 сторінок основного тексту, таблиць 13 на 7 сторінках, рисунків 53 на 45 стор., 258 найменувань використаної літератури на 21 стор., 4 додатки на 36 стор.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується необхідність проведення експериментальних та теоретичних досліджень комплексних сталобетонних конструкцій, актуальність, наукова новизна та практичне значення роботи.

В першому розділі проведено аналіз розвитку конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням та багатопарових балок і плит, сфери їх застосування. Відзначено переваги та недоліки таких конструкцій. Зроблено аналіз праць, присвячених дослідженню конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням та багатопарових залізобетонних конструкцій, методик їх розрахунку за вітчизняними та зарубіжними нормами.

Понад 28 років співробітниками кафедр будівельних конструкцій ДУ «Львівська політехніка» та ЛДАУ (М.Л.Гайдаш, А.Я.Шеховцов, Вас.М.Барабаш /науковий консультант даної роботи/, Вол.М.Барабаш, П.П.Крамарчук, А.І.І авриляк, В.П.Храмцов, Р.В.Лісоцький, В.В.Левчич, І.В.Мельник, Б.В.Демчина, І.І.Кархут, Б.І.Боднарчук, О.В.Крочак, І.М.Добрянський, В.В.Стецький, І.М.Добуш, З.Я.Бліхарський, Р.І.Кінаш, А.В.Мазурак, О.Д.Цимбровський, О.С.Федурко, Н.М.Джевала, Ю.А.Штендера, М.Е.Волинець, Ю.Є.Фамуля ; І.М.Борис, Т.Б.Боднарчук) під керівництвом Заслуженого діяча науки і техніки України, дійсного члена академії будівництва України та міжнародної академії оригінальних наук, доктора технічних наук, професора Кліменка Ф.Є. ведуться дослідження та впровадження у практику будівництва конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням, що отримали авторську назву сталобетонних конструкцій з зовнішнім армуванням, скорочено «сталобетонні».

На відміну від залізобетонних комплексні сталобетонні конструкції розглядаються та досліджуються вперше.

На теперішній час відомі комплексні залізобетонні плити покриття представлені різними варіантами дво- та трипарових конструкцій. Вперше принцип конструювання залізобетонних крупногабаритних згинаючих елементів із шарами з бетонів різної густини запропоновані в 1932 році А.М.Дороховим. В різний час робилися спроби застосувати багатопарові конструкції із жорстко зв'язаними між собою шарами (Д.К.Баулін, А.І.Дорохов, Ю.О.Орловський,

Н.А.Корнев, А.А.Кудрявцев, А.Я.Співак, А.С.Родовиченко, Н.С.Стронгін, Ф.Крумль, Я.Ріган, О.Граф, К.Штамм, Г.Вітте) та гнучкими (В.Л.Векслер, В.С.Волга, А.А.Ємельянов, Я.І.Иляшевський, В.Г.Леличенко, М.О.Соокян, Г.Сабанов, Т.А.Усачев, Л.М.Хейфец, Ю.В.Чиненко). В останні роки питанням міцності та деформативності згинаних тришарових залізобетонних елементів займалися В.Ф.Майборода, В.М.Карпюк, В.Г.Акоцов, М.О.Крусь, Е.А.Король.

Можна передбачити, що поєднання двох конструктивних рішень зовнішнього армування і кількох шарів бетону за висотою перерізу з різними фізико-механічними властивостями - дозволить отримати нову ефективнішу конструкцію, в якій поєднуються переваги обох конструктивних вирішень.

На основі проведеного аналізу літературних джерел визначено задачі дослідження.

У другому розділі подано опис матеріалів та конструкцій дослідних зразків, методики їх виготовлення та проведення експериментальних досліджень.

Для вивчення роботи комплексних сталобетонних конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням було розроблено і виготовлено 12 балкових зразків (три серії: серії I і III - без попереднього напруження, серія II - попередньо напружена). Розрахунковий проліт дослідних зразків становив 1400 мм, поперечний переріз - 135x270 мм. За висотою перерізу зразок складався з трьох шарів бетонів. Зовнішні шари перерізу (нижній товщиною 60 мм, верхній - 80 мм) виконані з важкого бетону, середній шар (товщиною 130 мм) - з тепло-, звукоізоляційного керамзитобетону (рис.1). Нижній шар важкого бетону призначався з умови надійного анкерування стрічкової арматури. Товщина верхнього шару прийнята згідно з умовою забезпечення міцності нормальних перерізів згинаного сталобетонного елемента. Як поздовжню арматуру використовували стрічкову арматуру періодичного профілю з умовною межею текучості 500 МПа та стержневу арматуру періодичного профілю класу А-IIIв. Поперечною арматурою слугували стержні Ø8 мм класу А-III. Етонування дослідних зразків виконували пошарово.

Міцність важкого бетону у зразках серій I та II становила $R_{bn}=41.0$ МПа, легкого керамзитобетону - $R_{bn}=2.9$ МПа ($\gamma=700$ кг/м³), серії III: важкого - $R_{bn}=12.5$ МПа, легкого - $R_{bn}=3.6$ МПа ($\gamma=750$ кг/м³).

Зразок Б-1-1 у прольоті зрізу містив 8 вертикальних поперечних стержнів, які приварювалися до зовнішньої стрічкової арматури в тавр під шаром флюсу. В опорній частині додатково виконано розкісну просторову систему з стержнів Ø8 класу А-III. Зразок Б-1-2 за армуванням був подібним до Б-1-1, але не містив опорних стержневих систем. Поперечні стержні у зразку Б-1-3 розміщено під кутом 45°.

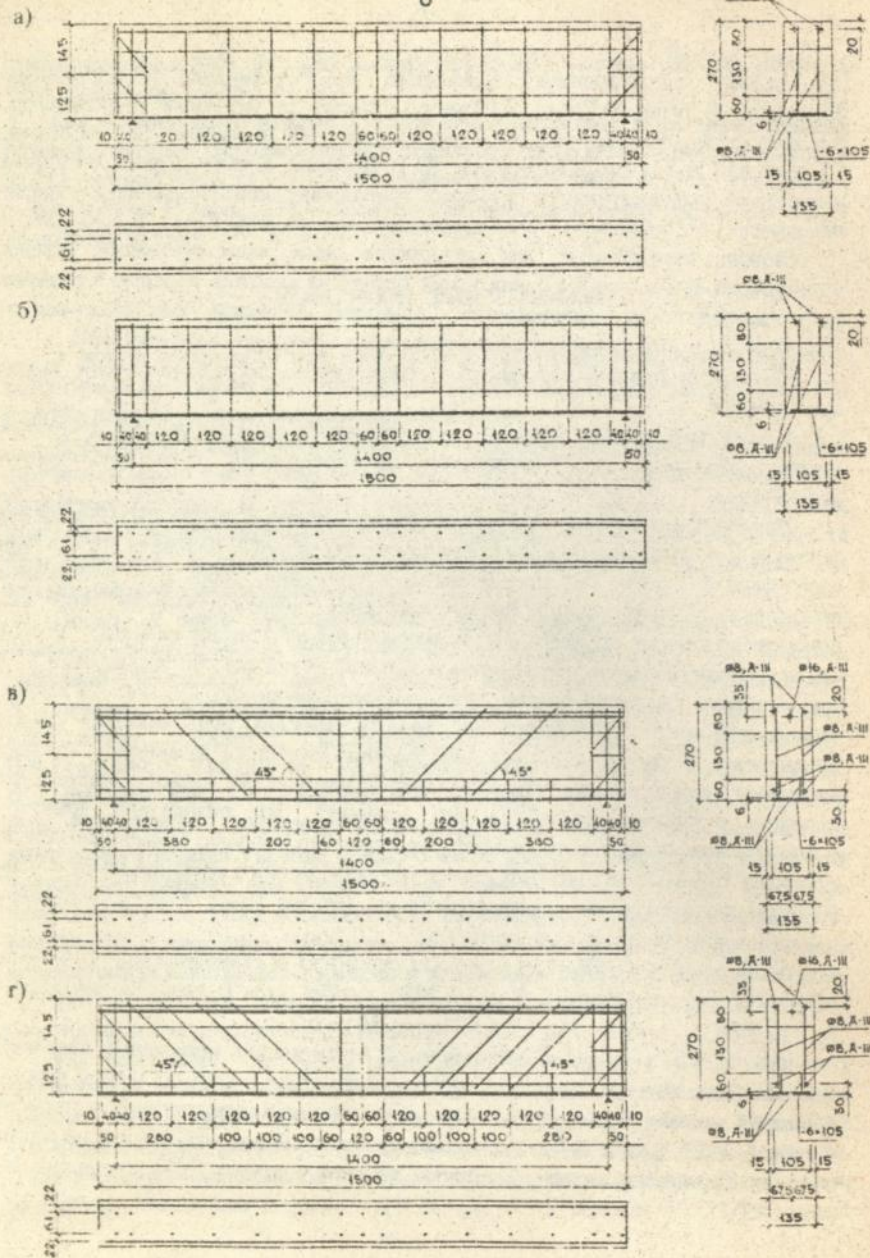


Рис 1. Конструкція дослідних зразків:
а) Б-I-1; б) Б-I-2; в) Б-II-1; г) Б-II-2

У елементі Б-І-4 поперечні стержні безпосередньо не зварювалися з поздовжньою стрічковою арматурою, а об'єднувалися в два вкладні плоскі каркаси. Зовнішня стрічкова арматура приєднувалася до важкого бетону через короткі анкери та стержні опорних просторових систем.

Дослідні зразки серії II виконувалися з попереднім натягом поздовжньої арматури. Зусилля попереднього натягу призначали з умови міцності зовнішніх шарів важкого бетону. Величина початкових напружень у стрічковій арматурі дорівнювала 301,5 МПа, у стержневій - 323 МПа. Всі зразки цієї серії армувалися вкладними каркасами. Зразок Бн-II-1 містив 4 похилі стержні в прольоті зрізу, Бн-II-2 та Бн-II-3 - 8 стержнів, Бн-II-4 - 12. На опорах виконано опорні стержневі конструкції. Зразок Бн-II-3 містив посилену опорну стержневу систему.

У зразках Б-III-1, Б-III-2 та Б-III-3 поперечне армування відсутнє. З'єднання стрічкової арматури у зразку Б-III-1 з важким бетоном виконувалося лише за допомогою рифів на поверхні стрічкової арматури ($t=6$ мм), а зразок Б-III-2 у розтягнутій зоні армувано 2-ма стержнями $\varnothing 16$ класу А-III. Зразок Б-III-3 містив стрічкову арматуру ($t=4$ мм) та опорні стержневі системи.

Конструкція Б-III-4 була подібною до зразка Б-І-4. Ці зразки відрізнялися лише міцністю бетонів та розміщенням коротких анкерів. У елементі Б-І-4 анкери розміщувалися попарно, а у Б-III-4 - у шаховому порядку.

В місці прикладення зовнішнього зосередженого навантаження для запобігання змінання слабкого середнього бетону у всіх дослідних зразках встановлено по 6 стержнів $\varnothing 8$ мм.

Застосування кількох схем поперечного армування дозволило вивчити вплив того чи іншого елемента каркасу на несучу здатність, деформативність та тріщиностійкість комплексної сталебетонної конструкції.

Завантаження виконували однією зосередженою силою, яку прикладали посередині прольоту балкового елемента на верхній її грані. Дослідні зразки опиралися на дві опори: рухому та нерухому. Після кожного ступеня завантаження замірювали покази тензодатчиків та індикаторів, що фіксували деформації стрічкової та стержневої арматури, важкого та легкого бетонів, зсуви по контактних шарах різних матеріалів та прогини балкових зразків. Появу та ширину розкриття тріщин у важкому та легкому бетонах спостерігали за допомогою мірного мікроскопа МПБ-2М.

Розроблені методики виготовлення та дослідження комплексних сталебетонних балкових елементів, прийняте дослідне обладнання дозволили у лабораторних умовах вивчити їх роботу під навантаженням, отримати детальні характеристики напружено-деформованого стану на будь-якій стадії завантаження.

У третьому розділі роботи наведено аналіз результатів експериментальних досліджень комплексних сталобетонних конструкцій. Подано опис роботи дослідних зразків від початку завантаження до руйнування. На основі отриманих результатів виконано оцінку впливу різних схем поздовжнього та поперечного армування, опорних просторових систем на міцність, жорсткість та тріщиностійкість комплексного сталобетонного елемента.

Експериментально встановлено вирішальний вплив поперечної арматури та її розміщення у прольоті зрізу комплексного сталобетонного елемента на його несучу здатність та жорсткість. Результати руйнування зразків Б-І-1 та Б-І-2 засвідчили значно меншу ефективність вертикальних поперечних стержнів порівняно з похилими. Вертикальні анкери не забезпечували надійного зв'язку в контактних шарах важкого та легкого бетонів, де спостерігалися значні деформації зсуву, що призводило до швидкого, невпинного зростання прогинів конструкції та її руйнування.

У всіх дослідних зразках найбільші значення деформацій зсуву зафіксовано по контакту між легким бетоном і нижнім контактним шаром важкого. Інтенсивність їх розвитку вздовж комплексного елемента залежала від схеми його поперечного армування.

Встановлення поперечних стержнів у прольоті зрізу під кутом 45° у зразках Б-І-3 та Б-І-4 дозволило збільшити несучу здатність комплексної сталобетонної конструкції в 1.6-1.8 раза, змінився і характер руйнування (табл.). Зразок Б-І-1 та Б-І-2 зруйнувалися внаслідок зсуву, а Б-І-3 і Б-І-4 - вичерпання міцності легкого бетону середнього шару. Ступево зменшилися деформації зсувів між шарами різних бетонів порівняно з Б-І-1 та Б-І-2 (рис.2).

В певних межах на несучу здатність зразків впливала кількість похилих поперечних анкерів. В межах інтервалу зміни 2, 4, 6 пар похилих стержнів (відповідно зразки Бн-ІІ-1, Бн-ІІ-2 та Бн-ІІ-4) встановлено, що зменшення кількості похилих стержнів у зразку Бн-ІІ-1 порівняно з Бн-ІІ-2 привело до зменшення несучої здатності в 1.1-1.2 раза та зростання прогинів в 1.2 раза. Збільшення кількості поперечних стержнів у зразку Бн-ІІ-4 не спричинило до збільшення несучої здатності та жорсткості. Значного впливу різної кількості похилої поперечної арматури в прольоті зрізу на утворення та розвиток тріщин не зафіксовано (рис.3).

Значним є вплив і просторової опорної стержневої конструкції. Її наявність крім того, що запобігала зминанню слабого керамзитобетону на опорах, дозволила підняти несучу здатність комплексних конструкцій в 1.3-1.4 раза, жорсткість - у 2.4 раза за рахунок загального підвищення надійності і міцності зв'язку між шарами.

Оптимальною виявилася просторова розкісна система, яка складалася з 6-ти стержнів діаметром 8 мм класу А-ІІІ, що приварювалися до стрічки в тавр.

Додаткове посилення опорної стержневої конструкції дослідного зразка Бн-П-3 не дало очікуваного приросту міцності та жорсткості комплексної сталобетонної конструкції.

Таблиця

Несуча здатність, момент утворення нормальних тріщин та деформативність дослідних комплексних сталобетонних зразків

Номер зразка	Дослідний момент утворення нормальних тріщин у важкому бетоні	Несуча здатність та прогини на стадії експлуатації (при 0.7F _{max})		Несуча здатність та прогини на стадії руйнування (при F _{max})	
		M, кНм	F, кН	ξ, мм	F, кН
Б-І-1*	9.8	67.2	0.85	96.0	7.47
Б-І-2*	8.75	50.4	0.57	72.0	3.11
Б-І-3	10.5	109.2	1.44	156.0	4.03
Б-І-4	10.5	121.8	1.59	174.0	5.42
Бн-П-1	13.5	126.0	1.33	180.0	5.04
Бн-П-2	14.5	84.0	0.72	192.0	6.79
Бн-П-3	14.25	140.0	1.17	200.0	3.59
Бн-П-4	15.0	147.0	1.33	210.0	4.20
Б-Ш-1	8.75	38.5	0.48	55.0	1.04
Б-Ш-2	7.0	35.0	1.20	50.0	2.82
Б-Ш-3	10.5	63.0	0.92	90.0	2.91
Б-Ш-4	10.5	126.0	3.10	180.0	7.77

* - руйнування відбулося внаслідок зсуву вздовж контакту між керамзитобетоном та нижнім шаром важкого бетону

У зразках серії П після прикладення зусилля попереднього обтиску було зафіксовано значні втрати попереднього напруження у стрічковій та стержневій арматурі, що становили 80% від початкового обтиску. Це природньо, адже середній шар легкого бетону є податливим. Проте попередній обтиск дозволив додатково зменшити прогини у комплексних зразках в 1.1-1.3 рази, підняти тріщиностійкість дослідних зразків в 1.2-1.3 рази. На утворення та характер розвитку тріщин у теплоізоляційному керамзитобетоні впливу попереднього обтиску не виявлено. Зсувів між шарами в момент обтиску не зафіксовано.

У всіх дослідних елементах не виявлен порушення зв'язку між зовнішньою стрічковою арматурою та важким бетоном.

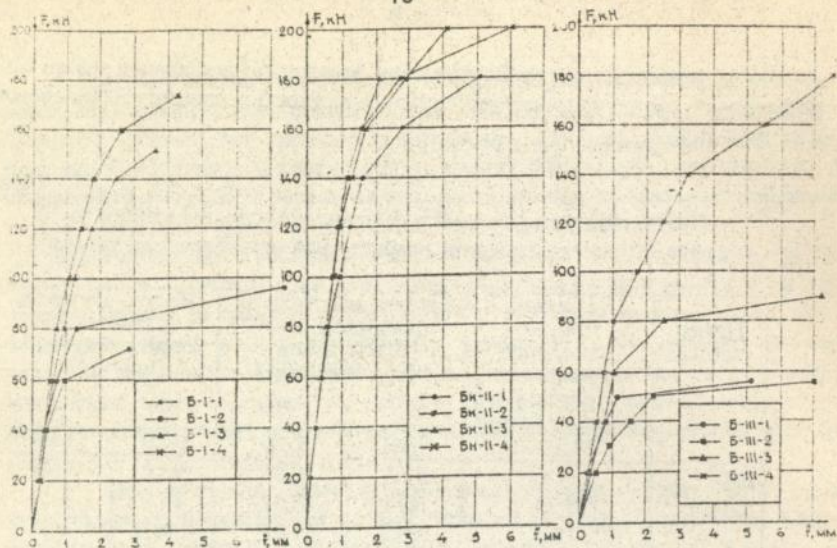


Рис.2. Експериментальні прогини дослідних зразків

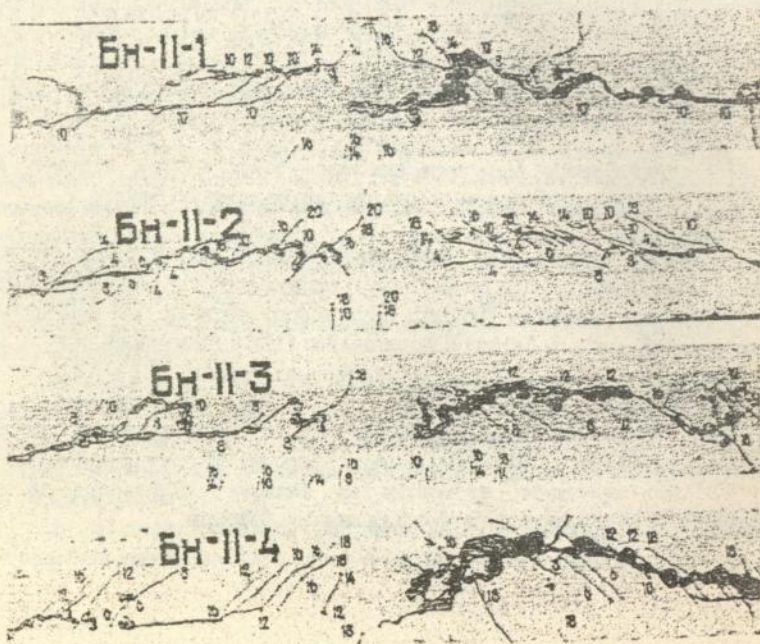


Рис.3. Характер руйнування зразків серії II

На основі експериментальних та теоретичних досліджень запропоновано залежності для оцінки впливу кількості поперечної арматури в прольоті зрізу (1) та в опорних стержневих системах (2) на несучу здатність комплексної сталобетонної конструкції:

$$Q_{\max} \leq 264.2 \mu_{sw}^{0.199}, \quad (1)$$

$$Q_{\max} \leq 256.57 \mu_{sw0}^{0.329}, \quad (2)$$

де Q_{\max} - несуча здатність комплексної сталобетонної конструкції;

μ_{sw} , μ_{sw0} - коефіцієнти поперечного армування в прольоті зрізу та фермовій опорній конструкції, визначаються за формулою

$$\mu_{sw} = \frac{A_{sw} n}{ub}, \quad (3)$$

де A_{sw} - площа перерізу поперечного стержня, см^2 ; n - кількість стержнів; u - крок поперечних стержнів, см ; b - ширина перерізу елемента, см .

Проведені дослідження підкреслили вирішальну роль поперечного армування в таких конструкціях. Що ж стосується застосування різних видів поздовжньої арматури, то їх впливу не виявлено. Характер роботи зразків з стрічковою і стержневою арматурою подібний.

У четвертому розділі наведені загальні викладки основних положень розробленої математичної моделі розрахунку комплексних сталобетонних конструкцій за методом скінченних елементів (МСЕ) та їх реалізація на ПЕОМ. Подається аналітичний опис реальних діаграм деформування "σ-ε" важкого та легкого бетонів, арматури з фізичною ділянкою текучості та без неї, процесів усадки та повзучості важкого та легкого бетонів. Коротко викладено формування загальної глобальної матриці лінійних (стержневих) та плоских (бетонних) скінченних елементів. У додатках подається реалізований алгоритм розрахунку комплексних сталобетонних елементів на мові програмування «Turbo Pascal 7.0».

В розробленій математичній моделі арматурні стержні представлялися лінійними скінченними елементами, бетони - плоскими чотирикутними. Беручи до уваги симетрію дослідних зразків, розглядали тільки ліву частину елемента, що дозволяло зменшити розмір глобальної матриці жорсткості та збільшити кількість скінченних елементів.

Задача вирішувалася за пружною схемою. Фізична нелінійність бетону і арматури врахована застосуванням ітераційних обчислень з уточненням січних модулів деформацій скінченних елементів за описами реальних діаграм деформування відповідних матеріалів. Для опису реальних діаграм бетонів та сталі використано залежність, рекомендовану ЕКЕ-ФІП для опису деформування бетону:

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}, \quad (4)$$

де $\eta = \epsilon_i/\epsilon_a$ - інтенсивність деформацій; ϵ_i - поточна деформація; ϵ_a - координата вершини діаграми; k - коефіцієнт нелінійності.

В роботі наведено рекомендації щодо обчислення значення коефіцієнта k для різних ділянок діаграми.

Програма складена за таким загальним алгоритмом.

1. Введення фізико-механічних характеристик бетонів та сталі, формування розрахункової схеми плоских чотирикутних та лінійних стержневих скінченних елементів.

2. Вирішення системи рівнянь МКЕ з обчисленням деформацій у вузлах скінченних елементів. За отриманими переміщеннями вузлів відносно видовження для лінійного скінченного елемента визначали за формулою:

$$\epsilon_{ij} = U_i \frac{x_i - x_j}{l_{ij}} + V_i \frac{y_i - y_j}{l_{ij}} - U_j \frac{x_i - x_j}{l_{ij}} + V_j \frac{y_i - y_j}{l_{ij}}, \quad (5)$$

для плоского чотирикутного скінченного елемента:

$$\epsilon_x = \frac{1-z}{|x_i - x_j|} (U_b - U_j) + \frac{z}{|x_k - x_l|} (U_k - U_l), \quad (6)$$

$$\epsilon_y = \frac{1-t}{|y_j - y_l|} (V_j - V_l) + \frac{t}{|y_k - y_i|} (V_l - V_k), \quad (7)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{(1-t)(U_j - U_l)}{|y_j - y_l|} + \frac{t(U_k - U_l)}{|y_k - y_l|} + \frac{(1-z)(V_j - V_l)}{|x_j - x_l|} + \frac{z(V_k - V_l)}{|x_k - x_l|}, \quad (8)$$

де z, t - рухомі координати точок по висоті плоского чотирикутного скінченного елемента; U, V - отримані переміщення вузлів скінченних елементів після розв'язку системи лінійних рівнянь; x, y - координати вузлів скінченних елементів; i, j, k, l - номери вузлів.

3. Визначення напруження σ_x , σ_y та τ_{xy} в скінченних елементах за реальними діаграмами матеріалів, корекція січних модулів E , визначення

прогинів f . Напруження для плоского чотирикутного скінченного елемента визначали за формулами:

$$\sigma_x = \frac{E_{bi}}{(1-\nu^2)} (\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y), \quad (9)$$

$$\sigma_y = \frac{E_{bi}}{(1-\nu^2)} (\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x), \quad (10)$$

$$\tau_{xy} = \frac{E_{bi}\gamma_{xy}}{2(1+\nu)}. \quad (11)$$

4. Перевірка міцності матеріалів. При вичерпанні міцності одного з елементів приймаємо $\Delta F = \Delta F/2$, $F = F + \Delta F$ та продовжуємо розрахунок з пункту 2.

5. Вивід епюр деформацій та напружень скінчених елементів, прогинів.

6. Збільшення зовнішнього зосередженого навантаження $F = F + \Delta F$. Продовження розрахунку з пункту 2.

7. Зупинка розрахунку здійснюється при досягненні встановленої попередньо точності за ΔF .

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Вперше розроблено та досліджено на міцність і деформативність нові звичайні та поперечно напружені комплексні сталобетонні конструкції із зовнішнім стрічковим армуванням на ділянках похилих та нормальних перерізів.

2. Основою запропонованого конструктивного рішення комплексної сталобетонної балки-плити, що працює на згин, є поперечний переріз, який складається із залізобетонного стиснутого верхнього шару та нижнього розтягнутого заармованого зовнішньою арматурою, проміжок між якими заповнено легким керамзитобетоном.

3. Проведені експериментальні дослідження комплексних багат шарових сталобетонних згинаних елементів дозволили означити для них такі стадії роботи:

- стадія I: від початку завантаження до появи перших нормальних тріщин комплекс і сталобетонна конструкція працює пружно, деформації по висоті складеного перерізу ν ють чітко виражений лінійний характер;

- стадія II: утворення нормальних та похилих тріщин, розвиток деформацій зсуву між шарами різних бетонів, формування похилої критичної тріщини в слабкому середньому бетоні;

- стадія III: руйнування комплексних сталобетонних зразків за змінанням середнього слабого бетону або зсувами по контактному нижньому шарі різних бетонів.

4. Одержані експериментальні дані досліджень міцності за похилими перерізами комплексних сталобетонних елементів та їх порівняння з теоретичними значеннями руйнуючих поперечних сил, визначені згідно з існуючими вітчизняними та зарубіжними нормами, дають задовільні результати.

5. Суттєве значення для надійності роботи за похилими перерізами комплексних конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням має:

а) зчеплення по довжині контактного шару легкого керамзитобетону та важкого бетону;

б) наявність запропонованої просторової стержневої системи на опорах, яка забезпечує монолітність з'єднання легкого і важкого бетонів та протидіє зусиллям зсуву;

в) міцність бетону, особливо керамзитобетону, що в прольоті зрізу забезпечується додатково поперечною стержневою арматурою, причому перевага надається похилим стержням під кутом $\alpha=45^\circ$;

6. Влаштування похилих анкерів під кутом 45° змінює характер руйнування комплексної конструкції, вони добре сприймають на себе зсуваючі зусилля між шарами різних бетонів, при цьому збільшують несучу здатність складеної сталобетонної конструкції в 1.6-1.8 раза.

7. Наявність на краях балкового елемента просторової стержневої системи збільшує несучу здатність комплексної конструкції в 1.3 раза, жорсткість - в 1.6-1.8 раза. Подальше посилення просторової опорної стержневої системи мало впливає на несучу здатність та жорсткість комплексної конструкції.

8. Застосування легкого теплоізоляційного керамзитобетону у середньому шарі по висоті сталобетонної конструкції дозволяє зменшити власну вагу конструкції на 30-40% без зниження несучої здатності комплексного сталобетонного елемента.

9. Розроблена методика розрахунку на ПЕОМ за методом скінченних елементів з врахуванням реальних діаграм деформування "σ-ε" матеріалів відповідає роботі реальної комплексної сталобетонної конструкції. Отримані на її основі епори напружень та деформацій у важкому та легкому бетонах, стрічковій та стержневій арматурах, графіки прогинів добре відповідають експериментальним даним.

Основні положення дисертації викладені в наступних статтях:

1. Шмиг Р.А., Волинець М.Е., Фамуляк Ю.С. та ін. Методика виготовлення та дослідження тришарових сталобетонних балок з зовнішнім листовим армуванням. В кн.: Проблеми теорії і практики будівництва. -Т.2: Сталобетонні конструкції. - Львів, 1997. -С.34-37.
2. Шмиг Р.А. Вплив поперечної арматури на міцнісні та деформівні властивості тришарових сталобетонних балкових конструкцій //Збірник наукових статей міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми теорії і практики залізобетону". -Полтава, 1997. -С.482-484.
3. Шмиг Р.А., Клименко Ф.Є., Барабаш В.М. та ін. Робота багатошарових сталобетонних конструкцій під навантаженням// Матеріали II-го міжнародного симпозіуму "Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій". -Львів: ЛДАУ, 1996. -С.29-32.
4. Шмиг Р.А., Волинець М.Е. Вплив конструктивних особливостей каркасів на несучу здатність тришарових сталобетонних конструкцій з зовнішнім листовим армуванням //Матеріали науково-технічної конференції "25 років сталобетонних конструкцій з зовнішнім армуванням". -Львів, 1996. -С.113-117.
5. Шмиг Р.А. Особливості роботи сталобетонних тришарових комплексних конструкцій з зовнішнім листовим армуванням //Матеріали науково-технічної конференції "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди". -Ч.1. -Рівне, 1996. -С.137.
6. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Шмиг Р.А. та ін. Економічна ефективність попередньо напружених сталобетонних балок прольотом 12 м. //Матеріали науково-технічної конференції "25 років сталобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням". -Львів, 1996. -С.74-77.
7. Шмиг Р.А., Барабаш В.М., Фамуляк Ю.С. та ін. Алгоритм обчислення напружень і деформацій в перетинах сталобетонних стержнів, які працюють на стиск зі згином, з врахуванням нелінійності //Звітна конференція викладачів та аспірантів за наслідками науково-дослідної роботи 1993 року, Львів, 13-20 квітня 1994 р.: Тези доп. -Львів: ЛДСГІ, 1994. -С.239-240.
8. Клименко Ф.Є., Волинець М.Е., Шмиг Р.А. Теоретичне дослідження роботи сталобетонних балок, армованих листовою арматурою //Вісник Львівського державного агр.ного університету: Архітектура та сільськогосподарське будівництво: Зб. наук пр. -Львів: ЛДАУ, 1996.-С.171-176.
9. Шмиг Р.А. Програмування задачі числового експерименту дослідження комплексних сталобетонних балок //Науково-технічна конференція, присвячена 140-річчю заснування Львівського державного агр.ного університету, Львів, 6-10 вересня 1996 р.: Тези доп. -Львів: ЛДАУ, 1996. -С.75.

АНОТАЦІЇ

Шмиг Р.А. Міцність та деформативність комплексних сталобетонних балкових конструкцій. -Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі і споруди. -Полтавський державний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, 1997.

В роботі викладені експериментально-теоретичні дослідження нових звичайних та попередньо напружених комплексних сталобетонних балкових конструкцій із зовнішнім стрічковим армуванням, що працюють на згин. Основою запропонованого рішення є плитна конструкція, що складається із залізобетонного стиснутого верхнього шару та нижнього розтягнутого армованого зовнішньою стрічковою арматурою, проміжок між якими займає середній шар з легкого теплоізоляційного керамзитобетону. Встановлено, що суттєве значення для надійності роботи за похилими перерізами тришарових сталобетонних елементів має зчеплення між шарами різних бетонів, наявність просторових стержневих систем на опорах та похилих анкерів в прольоті зрізу. Запропонована математична модель розрахунку за методом скінченних елементів з врахуванням реальних діаграм деформування матеріалів визначає напружено-деформований стан комплексних сталобетонних конструкцій, що працюють на згин на всіх стадіях завантаження.

Ключові слова: комплексна сталобетонна конструкція, зовнішня стрічкова арматура, важкий та легкий бетони, похиле та поперечне армування, зсуви по контактному шарі різних бетонів, несуча здатність.

Шмиг Р.А. Прочность и деформативность комплексных сталобетонных балочных конструкций. -Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. - Полтавский государственный технический университет им.Ю.Кондратюка, Полтава, 1997.

В работе изложены экспериментально-теоретические исследования новых обычных и предварительно напряженных комплексных сталобетонных балочных конструкций с внешним листовым армированием, работающих на изгиб. Основой предложенного решения есть плитная конструкция, состоящая с железобетонного сжатого верхнего слоя и нижнего растянутого армированного внешней листовой арматурой, промежутки между которыми занимает средний слой из легкого теплоизоляционного керамзитобетона. Установлено, что существенное значение для надежности работы по наклонным

сечениям трехслойных элементов имеет сцепление между слоями разных бетонов, присутствие пространственных стержневых систем на опорах и наклонных анкеров в пролете среза. Предложенная математическая модель расчета по методу конечных элементов с учетом реальных диаграм деформирования материалов определяет упруго-деформированное состояние комплексных сталебетонных конструкций, работающих на изгиб на всех стадиях нагружения.

Ключевые слова: комплексная сталебетонная конструкция, внешняя листовая арматура, тяжелый и легкий бетоны, наклонное и вертикальное армирование, сдвиги по контактной плоскости разных бетонов, несущая способность.

Shmig R.A. Durability and deformation of concrete reinforced beams. - Manuscript.

Dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences by speciality 05.23.01 - Building Structures, Buildings and Constructions. -Poltava J.Kondratyuk State Technical University, Poltava, 1997.

The thesis comprising the experimental theoretical investigations of new common and preliminary tensed complex concrete reinforced constructions. The basis of the suggested solution is the panel construction which is composed of the reinforced pressed up layer and the stretched lower layer reinforced with the external band skeleton frame construction, the space between which is filled with the light heat isolation ceramazite-concrete. It was estimated that the great importance for the proper work with the bend three-layer steel concrete constructions is the connection between the layers of different concrete, the presence of space frame systems on the supporting and the bend anchors in their flight of cutting. The suggested mathematic model according to the method of final elements defines the tense-deformed state of the complex concrete reinforced constructions regarding the real programmes of materials deformation at all loading stages.

Key words: the complex concrete-reinforced construction, external band skeleton frame construction, heavy and light concrete, bend and horizontal framing, bearing capacity.

Ав 39.163
Ав 39.163

Підп. до друку 17.12.97. Форм. пап. 60x84/16. Ум. друк. арк. 0.93.

Уч.-видав. н. 0.77. Папір друкарський. Друк офсетний.

Зам. 534.

Тир.100.

Ротапринт ЛДАУ Дубляни, Студентська, 2.