

ПОЛТАВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ
ІНСТИТУТ

На правах рукопису

КІНАШ Роман Іванович

УДК 624.072.2

ВИТРИВАЛІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСЬ
СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛК З ЗОВНІШНІМ
СТРІЧКОВИМ АРМУВАННЯМ

Фах 05.23.01 - будівельні конструкції,
будівлі та споруди

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата
технічних наук

Полтава - 1992

027
Робота виконана у Львівському політехнічному інституті.

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК - Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор
Ф.Є.Клименко.

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ - доктор технічних наук,
професор Л.І.Стороженко
- кандидат технічних наук,
доцент В.І.Астахов.

ВЕДУЧА ОРГАНІЗАЦІЯ - ПВКІТІ "Львівбудпроект".

Захист відбудеться "26" січня 1993р. в 14 годин
30 хв. на засіданні Спеціалізованої ради К. 068.46.01 в
Полтавському інженерно-будівельному інституті за адресою:
314601, м.Полтава, Першотравневий проспект, 24.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий "23" листопада 1992р.

Вчений секретар
Спеціалізованої ради
доцент



В.О.Бондар

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН УРСР

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00443025 (1)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Одною з умов прогресу в будівництві є зниження маси, трудомісткості і вартості споруд при умові забезпечення надійності та довговічності. З цією метою розвиваються нові напрямки в залізобетоні і вдосконалюються методи розрахунку конструкцій з врахуванням їх реальної роботи.

Вирішенню цієї проблеми в значній мірі може сприяти застосування сталобетонних конструкцій з зовнішнім стрічковим армуванням.

Позитивний ефект досягається винесенням арматури на найбільш напружені грані несучого елемента. Це дає можливість збільшити роботу висоту січення і одержати відповідний приріст міцності та жорсткості, або зменшити висоту конструкції при збереженні міцнісних і деформативних показників, що забезпечує зниження їх вартості і трудомісткості виготовлення.

Все більше їх застосування варто відмітити в енергетичному, транспортному і промисловому будівництві. Конструкції і елементи цих споруд крім статичних піддаються дії багаторазово повторних навантажень. Досвід проектування і застосування конструкцій вказує на необхідність у подальшому вдосконаленні методів розрахунку на основі фактичної роботи бетону і арматури при циклічних навантаженнях.

Значну роль в розвитку залізобетону відіграла розробка нового виду зовнішньої стрічкової арматури періодичного профілю для звичайних і попередньо напружених конструкцій. А так як витривалість згинальних елементів, як правило, визначається втомною міцністю арматури, виникає необхідність в детальних дослідженнях її втомних і деформативних властивостей.

Метод розрахунку витривалості залізобетонних згинальних елементів, який рекомендує СНиП 2.03.01-84*, недостатньо повно відображає умови роботи поздовжньої арматури і бетону стиснутої зони. Цей

розрахунок проводиться в припущенні пружної роботи залізобетону в перерізах з тріщинами шляхом порівняння напружень від зовнішнього навантаження з межами витривалості бетону і арматури. Такий підхід не відображає реального характеру роботи залізобетонного елемента.

Якщо дослідження витривалості стержневої арматури і залізобетонних звичайних і попередньо напружених балок за останній час виконані в невеликих об'ємах, то дослідження стрічкової арматури періодичного профілю і сталобетонних балок до теперішнього часу практично не виконувались.

В зв'язку з цим дослідження витривалості сталобетонних балок з зовнішнім стрічковим армуванням і вдосконалення методики розрахунку згинальних елементів на витривалість є дуже важливим і своєчасним.

Мета роботи:

Дослідити витривалість та деформативність сталобетонних балок з зовнішнім стрічковим армуванням із зчепленням і при його відсутності по нормальних перерізах і розробити пропозиції по розрахунку витривалості, прогинів і ширини розкриття тріщин згинальних елементів при прикладенні базового числа циклів навантажень (від 10^5 до 2×10^6).

Автор захищає:

- результати експериментальних досліджень витривалості, деформативності, тріщиностійкості і руйнування залізобетонних, сталобетонних балок з зовнішньою стрічковою арматурою періодичного, а також гладкого профілю, яка не має зчеплення з бетоном;

- розроблену методику перевірконого розрахунку витривалості нормальних перерізів залізобетонних і сталобетонних балок;

- дані досліджень впливу періодичного профілю і приварювання анкерів на витривалість стрічкової арматури;

- встановлені характеристики втомної міцності стрічкової арматури гладкого і періодичного профілю в стані поставки і з привареними анкерами;

- дані досліджених напружень стрічкової арматури при циклічному розтягуванні і одержані аналітичні залежності їх визначення;

- результати досліджень зміни напружено-деформованого стану в нормальних перерізах і умов роботи стиснутого бетону і поздовжньої арматури при багаторазово повторюваному навантаженні;

- алгоритм і програми перевірного розрахунку витривалості залізобетонних балок по нормальних перерізах;

Наукову новизну роботи складають:

- вперше виконані дослідження нової стрічкової арматури періодичного профілю, яка розроблена і прокатана кафедрою будівельних конструкцій ЛПІ;

- результати досліджень витривалості стрічкової арматури при циклічному розтягуванні в стані поставки, і з зварними з'єднаннями і в складі згинального елемента;

- експериментальні дані про несучу здатність, характер трішноутворення і руйнування, особливості напружено-деформативного стану нормальних перерізів сталобетонних балок при дії багаторазово повторюваного навантаження;

- розроблений, перевірений на експериментальних даних метод розрахунку витривалості, деформацій і ширини розкриття тріщин нормальних перерізів сталобетонних згинальних елементів на багаторазово повторне навантаження;

- одержані залежності для визначення напружень в стиснутому бетоні і поздовжній арматурі, ширини розкриття нормальних тріщин і прогинів балки від параметрів багаторазово повторюваного навантаження і проценту поздовжнього армування;

- залежності для визначення коефіцієнтів асиметрії напружень в стиснутому бетоні і поздовжній арматурі сталобетонних балок, які

виникли внаслідок дії циклічного навантаження і перевірені при розрахунку натурних конструкцій.

Практичне значення і впровадження результатів роботи.

Практичне значення роботи полягає в одержанні експериментальним шляхом фактичних відносних меж витривалості сталобетонних балок з зовнішнім стрічковим армуванням. Розроблена і перевірена методика розрахунку витривалості та деформативності, що сприяє більш широкому застосуванню даних конструкцій в будівництві.

Результати досліджень і методика розрахунку використані при конструюванні і розробці альбому робочих креслень підкранових балок з зовнішнім стрічковим армуванням прольотом 6,0 і 12,0 м. (доповнення до серії І.426.І-4).

Застосування зовнішньої стрічкової арматури в розтягнутій зоні сталобетонних конструкцій, яка не має зчеплення з бетоном, дозволяє відмовитись від поперечного армування так як, роботу конструкції можна порівняти з аркою, а роль затяжки виконує поздовжня стрічкова арматура.

Запропонована методика розрахунку витривалості і конструювання сталобетонних балок з зовнішньою стрічковою арматурою гладкого і періодичного профілю на дію багаторазово повторюваного навантаження прийняті НИИЖБом для включення в нормативні документи.

Конструктивна розробка сталобетонної підкранової балки прольотом 12,0 м, котра експонувалась в павільоні "Будівництво" ВДНГ одержала практичне визнання, а її автор нагороджений срібною медаллю і дипломом.

Апробація роботи. Основні положення і окремі розділи дисертаційної роботи повідомлені і обговорені на науково-технічних семінарах і конференціях ЛІІ в 1986-92 рр, на Всесоюзній нараді "Експериментальные исследования и испытания металлоконструкций"

(м.Львів, 1987 р.) на X Всесоюзній конференції по бетону і залізобетону "Ресурсо- і енергозберігаючі конструкції і технології" (м.Казань, 1988 р.); на XXI конференції молодих вчених і спеціалістів " Новое в технологии, расчете и конструировании железобетонных конструкций" (м.Москва, 1988 р.); на I Всесоюзному симпозіумі "Механика и физика разрушения композитных материалов и конструкций" (м.Ужгород, 1988р.); на IV республіканській науково-технічній конференції "Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений" (м.Симферополь, Черноморск, 1988 р.); на виробничо-технічному семінарі " Пути повышения эффективности производства железобетона" (м.Челябінськ, 1988 р.); на науково-практичній конференції " Совершенствование методов расчета и проектирования современных видов строительных конструкций" (м.Рівне, 1988 р.); на конференції молодих вчених і спеціалістів "Научно-технический прогресс в строительстве" (м.Москва, 1989 р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 14 друкованих робіт.

Об'єм роботи. Дисертація складається з змісту, вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури з 133 найменувань. Загальний об'єм роботи - 220 сторінок, з них 114 сторінок машинописного тексту, 65 рисунків, 18 таблиць, додаток на 38 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі проводиться огляд досліджень сталобетонних конструкцій з зовнішнім армуванням і експериментально-теоретичних досліджень витривалості залізобетонних конструкцій, міцнісних і деформативних властивостей бетону і арматури, при багаторазово повторюваних навантаженнях, а також аналіз існуючих методів розрахунку витривалості нормальних перерізів залізобетонних згинальних елементів.

Новий напрямок сталобетонних конструкцій з зовнішнім листовим і стрічковим армуванням дозволяє зменшити розміри поперечного перерізу згинальних елементів або одержати економію арматурної сталі, а також зменшити трудомісткість і їх виготовлення.

В роботах вітчизняних і закордонних дослідників Ф.Є.Клименко, В.М.Барабаша, А.П.Васильєва, Р.В.Воронкова, Н.Л.Гайдаша, А.І.Гавриляка, О.В.Кроцак, О.М.Лесковського, Л.І.Стороженко, В.А.Комлева, В.Я.Мартянова, І.Я.Подольського, Е.Д.Чіхладзе, А.Біргера, І.Гійона та інших приведені значні по об'єму теоретичні і експериментальні дослідження сталобетонних конструкцій з зовнішнім армуванням при дії статичного навантаження.

Роботу залізобетонних згинальних елементів при дії багаторазово повторюваного навантаження досліджували А.І.Абашидзе, О.Я.Берг, І.К.Велобров, Г.І.Бердичевський, В.П.Бранцевич, П.Вайнюнас, Ю.Валіконіс, Д.С.Волков, А.І.Іванов-Дятлов, А.П.Казанков, В.Г.Кваша, Т.С.Каранфілов, Ф.Є.Клименко, Н.Г.Лалаянц, В.В.Левич, Р.Л.Маїлян, І.В.Мельник, К.В.Михайлов, І.К.Матаров, С.Л.Мусатов, С.С.Піневич, Ю.В.Самбор, В.М.Селюков, В.І.Скатинський, С.І.Скоробогатов, М.Н.Стреляєв, Г.Б.Терехова, Н.П.Трусковський, В.Орнум, В.Слеттер, Р.Залігер, Е.Пробст, М.Рош, Т.Чанг, Г.Кеслер, К.Корн, Т.Лундін, Ф.Трейбер, Д.Верна, К.Екберг та інші.

Експериментально-теоретичні дослідження статичної роботи залізобетонних балок, які не мають зчеплення поздовжньої арматури з бетоном, виконувались багатьма авторами, в тому числі А.А.Вайсфельдом, О.І.Мордичем, Л.В.Образцовим, А.Б.Пірадовим, О.О.Поляковим, І.О.Поповичем, Ю.Г.Решетарем, О.А.Рочняком, А.П.Слукою, Г.М.Спригіним, В.Б.Тітусом, А.І.Хачатрянком та іншими. Однак оцінка впливу відсутності зчеплення арматури з бетоном на несучу здатність у багатьох авторів неоднозначна, навіть при статичних навантаженнях. В зв'язку з цим для оцінки витривалості сталобетонних конструкцій

першорядним завданням є проведення експериментально-теоретичних досліджень по вивченню витривалості та деформативності стрічкової арматури гладкого і періодичного профілю як в стані поставки, так і при наявності зварних з'єднань, а також в складі згинальних елементів при дії циклічного навантаження.

В другому розділі приводяться програма і методика експериментальних досліджень стрічкової арматури гладкого і періодичного профілю, а також сталобетонних балок при наявності зчеплення і при його відсутності.

Для вирішення задач досліджень були виготовлені і випробувані 26 експериментальних зразків балок і 225 зразків арматури.

Всього було досліджено 5 серій зразків арматури. Для визначення впливу періодичного профілю і приварювання поперечних стержнів до робочої поздовжньої арматури в складі залізобетонних конструкцій були виготовлені експериментальні зразки довжиною 600 мм, шириною 50 мм, товщиною основи 6 мм і висотою рифів 2 мм. Анкери із стержневої арматури діаметром 8 А-III приварювали аналогічно як в балочних елементах: до стержневої арматури контактною зваркою, до стрічкової арматури - напівавтоматичною зваркою під шаром флюсу.

Загальна довжина - 2100 мм і робоча висота - 195 мм прийняті однаковими для всіх зразків балок. Розрахунковий проліт балок серій 1...5 складав 1800 мм, для серій 6 і 7 був рівний 2000 мм, що пов'язано з особливістю анкерування стрічкової арматури, яка не мала зчеплення з бетоном.

В зоні чистого згину верхню арматуру не встановлювали. Виключення складали зразки серій 3 (2 і 8 А-III). Для запобігання виникнення верхніх тріщин при відпусканні попередньо напруженої арматури застосовувалась затяжка, винесена за межі перерізу балки і не знімалась до кінця випробувань.

Поперечний переріз балок серії I прямокутний з розмірами 220x100 мм, армували 2 ϕ 16 А-III (сталь 35ГС з $\sigma_{yn} = 524$ МПа, $\sigma_{un} = 758$ МПа, $E_s = 1,98 \times 10^5$ МПа). Балки серій 2...5 армувались зовнішньою стрічковою арматурою періодичного профілю, виконаною шляхом прокоцування на послідньому заводі УкрЦДІМет м.Харків (а.с. № 572556, № 1213155). Зовнішня арматура представляє собою стрічку (сталь марки 09Г2ФБ з $\sigma_{yn} = 450$ МПа, $\sigma_{un} = 600$ МПа, $E_s = 2,03 \times 10^5$ МПа). Балки серій 2,5,6, і 7 армувались стрічкою з перерізом 67x6 мм, балки 3 і 4 серій - 50x6 мм, що відповідало проценту поперечного армування 2 і 1,5. Серії 5 і 7 виконувались попередньо-напруженими ($\sigma_{sp} = 0,6R_s$).

В поперечному напрямі балки серій I...5 армувались хомутами ϕ 8 А-III з кроком 80 мм на припорних ділянках, в зоні чистого агину - 100 мм, котрі приварювались в тавр до стрічки за допомогою напівавтоматичної зварки під шаром флюсу. В балках серій 6 і 7 поперечна арматура була відсутня. Зчеплення між зовнішньою стрічковою арматурою і бетоном виключалось шляхом нанесення на неї солідолу і покриттям поліетиленової плівки. Балки серій I...6 були виготовлені з важкого бетону з андезитовим заповнювачем класу В 45, а балки серії 7 - з важкого бетону класу В40.

Для дослідження експериментальних зразків арматури на короткочасні і багаторазово повторювані навантаження використовували універсальну машину типу ЦДМ-10 Ілу. Випробовування балок проводили на універсальному пресі МУП-50 при вільному опиранні балки по однопролітній схемі з двома зосередженими силами в третях прольоту. Рівень навантаження змінювався від 0,7 до 0,35 від руйнуючого статичного навантаження. Частота прикладення навантаження прийнята однаковою для всіх зразків 10 Гц, коефіцієнт асиметрії циклу прикладення навантаження - $\rho = 0,3$. Деформації бетону і арматури вимірювали за допомогою тензорезисторів і контролювали індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм.

Одну-дві балки кожної серії випробовували статичним навантаженням, яке дозволило визначити фактичні значення руйнуючого моменту і моменту утворення тріщин, по яких призначались параметри циклічного навантаження. Для визначення межі витривалості арматури і балок використовували метод спадаючих навантажень. Замірювання деформацій арматури і бетону при статичних випробуваннях виконувались за допомогою автоматичного вимірювача деформацій АИД-4, при циклічних - шлейфового осцилографа К І2-22 в комплекті з тензопідсилювачем ТА-5. В процесі випробувань проводились замірювання величин взаємних змішень бетону балки відносно стрічкової арматури. Вимірювальні прилади встановлювали в п'яти перерізах рівномірно розмішених по довжині зразка: безпосередньо під силами, біля опори і між ними.

Одержані дані деформування зразків арматури і балок оброблялись по спеціально розроблених програмах на вчислювальній машині УВК СМ-4, що дало можливість від деформацій арматури і бетону перейти до напружень і зусиль. На ЕОМ також оброблялись дані, які характеризують прогин і кривизну осі балки, описують розвиток тріщин та інші результати, одержані при експериментальних дослідженнях.

В третьому розділі представлені результати експериментальних досліджень витривалості зразків стрічкової арматури гладкого і періодичного профілю та згинальних балочних елементів.

Одержані відносні межі витривалості для різних типів арматурних зразків в стані поставки складають: для гладкої стрічкової арматури $0,62 \sigma_y$, для стрічкової арматури з рифленою поверхнею $0,5 \sigma_y$, для стержневої арматури періодичного профілю класу А-III - $0,63 \sigma_y$. Значення відносних меж витривалості зразків із зварними з'єднаннями складають: для стрічкової арматури з привареними в тавр анкерами - $0,45 \sigma_y$ і для стержневої арматури класу А-III з хрестоподібними зварними з'єднаннями - $0,5 \sigma_y$.

На основі проведеного аналізу мікроструктурних досліджень зварних з'єднань стрічкової і стержневої арматури встановлено, що найбільш слабким місцем при циклічному розтягуванні стрічкової арматури є перехідна ділянка від наплавленого металу до зони термічного впливу стрічки.

Руйнування балок при циклічному навантаженні, незалежно від його рівня і проценту армування, починалось в розтягнутій зоні з появою втомної тріщини, як правило, в місці приварювання. Розміщення втомних плям в перерізі стрічкової арматури свідчить про те, що зародження і розвиток тріщин визначає місце приварювання поперечної арматури, а також тertia арматури з бетоном на ділянці з порушеним зчепленням в зоні тріщини.

Балки Б1Д1, Б2Д2, Б3Д1, БН5Д1, БН5Д2, зруйнувались від моменту в похилій тріщині від втомного розриву стрічкової арматури в місці приварювання поперечної арматури із забезпеченим зчепленням з бетоном балок. Решта зразків із забезпеченим зчепленням зруйнувались від втомного розриву арматури в зоні чистого згину.

В результаті проведених досліджень одержані експериментальні значення меж витривалості стрічкової арматури і сталобетонних балок з зовнішнім стрічковим армуванням. Застосування попереднього напруження сприяло збільшенню відносної межі витривалості сталобетонних балок на 10% при наявності зчеплення, а при його відсутності - на 20% в порівнянні з аналогічними конструкціями без напруження арматури.

Для багаторазово повторюваного навантаження приводить до зниження зчеплення стрічкової арматури періодичного профілю з бетоном сталобетонних балок в 2 рази в порівнянні з першим статичним навантаженням. Максимальна величина зсуву зовнішньої стрічкової арматури періодичного профілю відносно бетону після прикладення базового числа циклів або перед руйнуванням дорівнювала 50...60 мкм, а при статичному руйнуванні - 150...175 мкм.

Збільшення прогинів балок перед руйнуванням або після прикладення 2×10^6 циклів в 1,2...1,5 рази в порівнянні з величинами при першому навантаженні відбувається в основному за рахунок нагромадження залишкової складової напружень в арматурі і залежить від параметрів циклічного навантаження і проценту поздовжнього армування.

Четвертий розділ містить аналіз напружено-деформованого стану нормальних перерізів згинальних елементів і пропозиції по розрахунку витривалості, прогинів і ширини розкриття тріщин.

При збільшенні навантаження в бетоні стиснутої зони проходять структурні зміни: проявляються пластичні властивості бетону і процеси мікротріщиноутворення, що враховується ділянкою пластичного деформування X_{pl} , а максимальні напруження при цьому приймаються постійними рівні призмовій міцності R_B . Подальші пульсуючі навантаження не призводять до збільшення початкових напружень стиснутого бетону, а викликають зміну об'єму їх епюри за рахунок подальшого збільшення ділянки пластичного деформування $X_{pl,rep}$ (рис.1).

Величина $\Delta X_{pl,rep}$ одержана шляхом обробки всіх існуючих даних експериментальних досліджень витривалості згинальних елементів і дорівнює

$$\Delta X_{pl,rep} = 2,2 + 7,6\gamma + 0,15\rho - 4\mu - 0,9\gamma\rho - 1,1\rho\mu - 7,1\gamma^2 + 1,65\rho^2. (I)$$

Для оцінки фактичних умов роботи бетону і арматури при дії циклічних навантажень визначені фактичні напруження і їх форма епюри при мінімальному навантаженні циклу (рис.2).

Визначивши фактичні напруження в бетоні стиснутої зони і приймаючи в розрахунках трикутну або трапецієвидну форму епюри в залежності від параметрів зовнішнього навантаження, одержуємо фактичний коефіцієнт асиметрії циклу напружень, а потім і межу його витривалості.

Маючи відомі напруження в бетоні при першому навантаженні

Розрахункові епюри напружень при максимальному навантаженні циклу

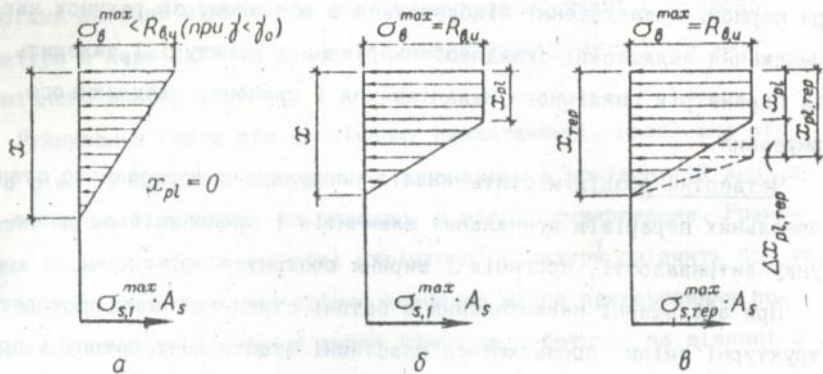


Рис. 1

Розрахункові епюри напружень при мінімальному навантаженні циклу

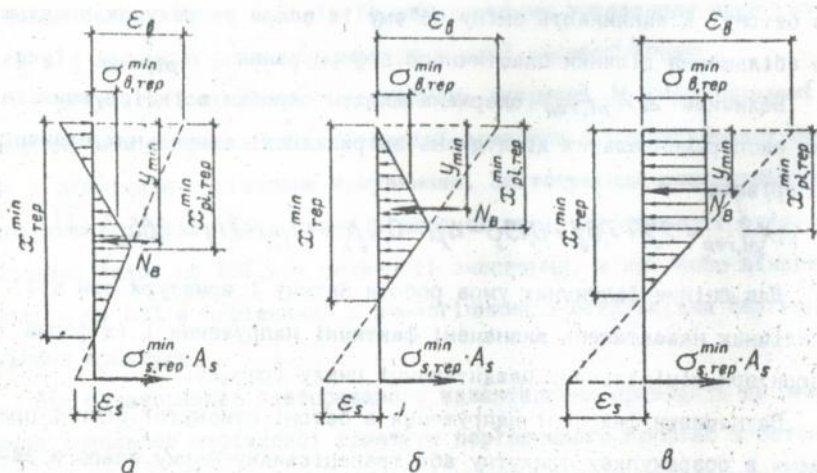


Рис. 2

$\sigma_{\theta}^{max}, \sigma_{\theta}^{min}$ і арматури $\sigma_{s,l}^{max}, \sigma_{s,l}^{min}$, відомій висоті стиснутої зони бетону χ^{max}, χ^{min} пластичної ділянки епюри стиснутої зони $\chi_{pl}^{max}, \chi_{pl,rep}^{max}, \chi_{pl,rep}^{min}$ з умов рівноваги проекції внутрішніх зусиль знаходимо максимальні $\sigma_{s,rep}^{max}$ і мінімальні $\sigma_{s,rep}^{min}$ напруження в арматурі після дії багаторазово повторюваного навантаження, які відповідають максимальному і мініимальному моменту від зовнішнього навантаження

$$\sigma_{s,rep}^{max} = \frac{\sigma_{\theta}^{max} \cdot B(\chi^{max} + \chi_{pl,rep}^{max})}{2 \cdot A_s} \quad (2)$$

Напруження в поздовжній розтягнутій арматурі визначаються як сума напружень при першому навантаженні і приросту напруження від дії багаторазово повторного навантаження

$$\sigma_{s,rep} = \sigma_{s,l} + \Delta \sigma_{s,rep}; \quad (3)$$

де

$$\Delta \sigma_{s,rep} = \frac{\sigma_{\theta}^{max} \cdot \beta \cdot \Delta \chi_{pl,rep}}{2 \cdot A_s}$$

Визначивши ці напруження знаходимо фактичний коефіцієнт асиметрії циклу напружень в поздовжній арматурі ρ_s , по якому визначаємо коефіцієнти умов роботи арматури γ_{s3} і γ_{s4} по СНиП 2.03.01-84^{*}. Це дає можливість знайдене напруження співставити з межею витривалості арматури і визначити можливість роботи балки при багаторазово повторному навантаженні даного режиму.

При відомій висоті стиснутої зони, визначивши деформації арматури і верхніх фібр бетону стиснутої зони після дії циклічного навантаження, знаходили кривизну і прогин в момент руйнування або після прикладення 2×10^6 циклів навантаження.

Для розрахунку ширини розкриття нормальних тріщин залізобетонних балок після дії пульсуючих навантажень використовується формула СНиП 2.03.01-84^{*}. Такий підхід до розрахунку ширини розкриття тріщин в сталобетонних згинальних елементах з зовнішнім стрічковим армуванням використати неможливо, оскільки при цьому викорис-

товується величина діаметру арматури. Тому рекомендується ширину розкриття тріщин визначати по формулі СНиП II-B.I-62^н запропонованої Мурашовим В.І.:

$$a_{сгс, гср} = \psi_{s, гср} \frac{\sigma_{s, гср}}{E_s} l_{сгс}, \quad (4)$$

де

$l_{сгс}$ - відстань між тріщинами,

$\psi_{s, гср} = 0,15 \lg N + 1,0$ - коефіцієнт, який враховує часткове порушення зчеплення стрічкової арматури з бетоном на деякій ділянці біля нормальних тріщин, які мають максимальне розкриття.

На основі пропозицій по розрахунку і існуючих експериментальних даних розроблена математична модель і проведений числовий експеримент, на основі якого виявлені закономірності роботи балок з різними міцностями бетону і арматури, висотами перерізів, площами поздовжньої арматури і параметрами зовнішнього навантаження.

При обробці даних числового експерименту одержані залежності таких величин як напруження в стиснутому бетоні і поздовжній арматурі, приріст напружень в поздовжній арматурі, коефіцієнти циклу напружень в бетоні і арматурі, ширини розкриття нормальних тріщин, прогинів внаслідок дії циклічного навантаження. Одержані залежності можна використати для визначення витривалості та деформативності згинальних елементів при дії багаторазово повторного навантаження, знаючи його параметри і процент поздовжнього армування. Розходження розрахункових і експериментальних значень напружень і коефіцієнтів їх циклу в арматурі, ширини розкриття тріщин і прогинів знаходяться в межах +14,3...-11,4%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

По результатах виконаних досліджень витривалості стрічкової арматури гладкого і періодичного профілю, а також сталобетонних балок з зовнішнім стрічковим армуванням:

1. Встановлені межі витривалості нової стрічкової арматури гладкого і періодичного профілю в стані поставки, а також з тавровими зварними з'єднаннями.

2. Визначені коефіцієнти умов роботи γ_{S3} стрічкової арматури гладкого і періодичного профілю при багаторазовому повторенні навантаження, які рівні 0,62 і 0,5 відповідно, вплив зварних таврових з'єднань поперечної арматури необхідно враховувати коефіцієнтом $\gamma_{S4} = 0,65$.

3. Підтверджено збільшення статичної міцності сталобетонних згинальних елементів в порівнянні з аналогічними залізобетонними на 8...12%.

4. Експериментальним шляхом встановлені фактичні значення відносних меж витривалості сталобетонних балок з зовнішньою стрічковою арматурою гладкого і періодичного профілю при відсутності зчеплення з бетоном і з його забезпеченням шляхом приварювання анкерів.

5. Втомне руйнування звичайних і попередньо напружених сталобетонних згинальних елементів з забезпеченим зчепленням проходить від розриву арматури в місці приварювання анкера. Межа витривалості стрічкової арматури в таких конструкціях нижча на 15% межі витривалості необетонованих зразків цієї арматури.

6. Методом математичної статистики проведений аналіз існуючих експериментальних даних, котрий дав можливість розробити методику розрахунку витривалості залізобетонних і сталобетонних конструкцій.

7. Виявлені особливості розвитку тріщин у звичайних і попе-

редньо-напружених балках з зовнішньою стрічковою арматурою при наявності і відсутності зчеплення з бетоном при дії короткочасного і багаторазово повторного навантаження. Вираховані по формулі (4) значення ширини розкриття тріщин не перевищують експериментальних значень і дають задовільну схожимість.

8. Розроблена і апробована в практичних розрахунках математична модель роботи згинальних елементів при дії багаторазово повторного навантаження : в порівнянні з розрахунком по методиці СНІП дає можливість одержати економію арматурної сталі на 10...30%.

9. Прогини згинальних елементів, армованих зовнішньою стрічковою арматурою періодичного профілю рекомендується визначати по стандартній методиці через кривизну або по запропонованій залежності. Кривизну цих елементів внаслідок дії багаторазово повторюваного навантаження необхідно вираховувати по середніх деформаціях бетону і арматури.

10. Результати експериментальних досліджень і методика розрахунку витривалості сталобетонних балок з зовнішнім стрічковим армуванням використані кафедрою будівельних конструкцій ЛПІ і ПІСТІ "Львівбудпроект" при розробці альбому робочих креслень підкранових балок прольотом 6,0 і 12,0 м в доповнення до серії І.426.І-4.

11. Запропонована методика розрахунку і конструювання сталобетонних балок з зовнішньою стрічковою арматурою гладкого і періодичного профілю при роботі на витривалість прийняті НИИЖБом для включення в нормативні документи.

12. Новизна і практичне значення конструкцій сталобетонних підкранових балок заслужили визнання на ВДНГ в павільоні "Будівництво" з видачею диплому та срібною медалі.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ
В НАСТУПНИХ РОБОТАХ:

1. Клименко Ф.Е., Левчиц В.В., Добуш И.М., Кинаш Р.И. Выносливость сталебетонных балок // Работа бетона и железобетона с различными видами армирования на выносливость при многократно повторяющихся нагрузках: Тез. докл. коорд. совещ. - Львов, 1987. - С. 31.
2. Левчиц В.В., Кинаш Р.И. Выносливость сталебетонных балок // Вестн. Львов. политехн. ин-та. - 1988. - № 223: Резервы прогресса в архитектуре и строительстве. - С. 61-62.
3. Левчиц В.В., Добуш И.М., Кинаш Р.И. Усталостное разрушение железобетонных балок // Механика и физика разрушения композитных материалов и конструкций: Тез. докл. I Всесоюзн. симп. - Ужгород, 1988. - С. 124-125.
4. Добуш И.М., Кинаш Р.И., Валдаев А.Л. Применение железобетонных балочных элементов с арматурой не имеющей сцепления с бетоном // Научно-технический прогресс в строительстве: Тез. докл. конф. Москва, 1989. - С. 208-209.
5. Крочак О.В., Кинаш Р.И. Экономическая эффективность применения сталебетонных конструкций в строительстве // Научно-технический прогресс в строительстве: Тез. докл. конф. - М., 1989. - С. 122-124.
6. Левчиц В.В., Добуш И.М., Кинаш Р.И. Выносливость нормальных сечений железобетонных балок // Совершенствование методов расчета железобетона. - Ростов н/Д, 1988. - С. 132-138.
7. Кинаш Р.И. Изменение условий работы бетона и арматуры в нормальных сечениях железобетонных балок при многократно повторяющихся нагрузках // Исследование работы и совершенствование методов расчета железобетонных конструкций: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Львов, 1989. - С. 53.
8. Крочак О.В., Кинаш Р.И., Клименко Ф.Е. Конструктивные и

эксплуатационные особенности сталебетонных конструкций // Развитие и совершенствование и реконструкция стальных конструкций зданий и сооружений: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Симферополь, 1988. - С. 8.

9. Клименко Ф.Е., Кинаш Р.И., Волюнец М.Е. Исследование железобетонных и сталебетонных балок при циклических нагрузках // Совершенствование методов расчета и проектирования современных видов строительных конструкций: Тез. докл. науч.-практ. конф. - Ровно, 1988. - С. 120-121.

10. Левчик В.В., Добуш І.М., Кінаш Р.І. Розрахунок втомної міцності нормальних перетинів залізобетонних балок // Вісн. Львів. політехн. ін-ту. - 1991. - №252: Резерви прогресу в архітектурі та будівництві. - С.65-67.