

На правах рукопису

ЧЕКАНОВИЧ Мечислав Геннадійович

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ОБТІСНЕНИХ
ШЛЯХОМ НАТЯГУ АРМАТУРИ НА СВІЖОУКЛАДЕНУ БЕТОННУ СУМІШ

Спеціальність 05.23.01. - Будівельні конструкції,
будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1993

Робота виконана в Київському автомобільно-дорожньому інституті

Науковий керівник - Академік Транспортної Академії України,
Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук,
професор О.О. Рассказов

Науковий консультант - кандидат технічних наук,
ст. н. с. А.М. Бамбура

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор А.С. Дехтяр,
- кандидат технічних наук,
ст. н. с. Ю.А. Климов

Провідна установа - "Київсоюзшляхпроект"

Захист відбудеться "14" травня _____ 1993 р. о 13 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.05.04 Київського
інженерно-будівельного інституту за адресою: 252037, м.Київ,
Повітрофлотський проспект, 31.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського
інженерно-будівельного інституту.

Автореферат розісланий "___" _____ 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук,
доцент

Мельниченко Г.И. Мельниченко

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00802963 (S)

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний рівень розвитку будівництва характеризується поширенням попередньо напружених залізобетонних конструкцій, а також збільшенням обсягів застосування конструкцій із звичайних бетонів підвищеної міцності. Все це досягається за рахунок удосконалення способів виготовлення, використання ефективних арматурних елементів та цементів високих марок.

Одним з напрямків підвищення несучої здатності залізобетонних конструкцій, спрямованих на максимальне використання властивостей міцності будівельних матеріалів, є обтиснення свіжоукладеної бетонної суміші. В наш час науково і практично доказано, що обтисненням суміші досягається суттєве підвищення міцності та довговічності бетону. Серед можливих засобів створення обтиснення бетонної суміші є передача на неї зусиль попереднього напруження арматури. Проте цей шлях не був повністю реалізований раніше у зв'язку з труднощами технологічного характеру. Виконані автором дисертації попередні дослідження довели можливість виготовлення залізобетонних конструкцій за способом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш. При цьому по всій довжині конструкції досягається практично однакове обтиснення суміші.

Наявність способу виготовлення конструкцій обумовило необхідність проведення комплексу експериментально-теоретичних досліджень, направлених на уточнення технологічних заходів і вивчення впливу різних факторів на несучу здатність обтиснених залізобетонних конструкцій та розробку пропозицій щодо їх розрахунку з метою реалізації в практиці будівництва.

Мета роботи - експериментально-теоретичне дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних елементів, обтиснених у процесі формування шляхом передачі сил попередньої напруги на свіжоукладену бетонну суміш, при дії короточасних навантажень, розробка методики розрахунку несучої здатності конструкцій з урахуванням технології виготовлення.

Автор захищає

- результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану залізобетонних елементів, напружених шляхом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш, при дії короточасного навантаження;

- методику знаходження несучої здатності залізобетонних елементів круглого поперечного перерізу з урахуванням особливостей технології виготовлення;
- опосіб виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій, обтиснених шляхом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш, та пристрій для його здійснення;
- результати досліджень підвищення міцності бетону натурних залізобетонних елементів, обтиснених за опособом "на суміш"^{*)}.

Наукова новизна

- одержані нові дані експериментальних досліджень про закономірності впливу величини зусилля натягу арматури на несучу здатність залізобетонних конструкцій при обтисненні їх у процесі формування;
- запропонована методика знаходження напружено-деформованого стану конструкцій круглого поперечного перерізу, яка базується на використанні реальних діаграм деформування бетону та арматури, розроблено алгоритми розрахунку несучої здатності конструкцій, реалізований програмю для ЕОМ;
- розроблено новий спосіб виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій і пристрою для його здійснення, запропонована нова конструкція анкерного елемента, і новий пристрій для одержання проб бетону стандартних розмірів безпосередньо з обтисненою конструкцією, захищені авторськими свідоцтвами NN 1330284, 1548389, 1678618, 1728427, 1747632, 1749040, 1752901 і патентом N 1799970.

Практична цінність

Вперше у практиці будівництва створені великорозмірні залізобетонні елементи, попередньо напружені шляхом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш, що розширило існуючу класифікацію попередньо напруженого залізобетону і дозволило більш ефективно використовувати властивості міцності будівельних матеріалів. Розроблені пропозиції щодо розрахунку несучої здатності створених залізобетонних елементів круглого та прямокутного поперечних перерізів.

Результати експериментально-теоретичних дослідів запроваджені

* - тут і далі мається на увазі свіжоукладена з застосуванням вібрації обтиснена бетонна суміш

ні для розрахунку та виготовлення позacentрово отинених стояків, які встановлені й експлуатуються в опорах естакадної частини мостового переходу через р. Дніпро в м. Дніпродзержинську.

Апробація роботи та публікації. Основні результати досліджень викладені й схвалені на міжнародній конференції "Конструкції из частично преднапряженного бетона", яка відбулася в м. Братіслава (Чехословаччина) 1-3 червня 1988 р.; на науково-технічних конференціях крайового празління ВІТО будівельної індустрії, ХПІ, Хабаровському Дому техніки "Пути повышения качества, надежности и долговечности конструкций инженерного назначения" (Хабаровськ, 1989 р.) і "Моделирование и оптимизация технологических процессов и элементов конструкций сооружений инженерного назначения" (Хабаровськ, 1989 р.); на Всесоюзній науково-технічній конференції "Научно-техническое обеспечение выполнения постановления по строительству автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР" Міншляхбуду, "Сорздорни" (Москва, 1989 р.); на 51-й науково-технічній конференції МГМІ (Магнітогорськ, 1989 р.); на Міжнародній конференції молодих вчених і спеціалістів в області бетону та залізобетону НДІЗБ, ВНДІЗалізобетону та ін. (Іркутськ, 1990 р.), а також на наукових конференціях Київського автомобільно-дорожнього інституту (Київ, 1986-1992 р.).

За темою дисертації опубліковано 21 роботу.

Обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та додатку. Основний зміст роботи викладено на 197 сторінках, включає 62 рисунки, 29 таблиць, та бібліографів з 201 найменування.

Робота виконувалася на експериментальній базі лабораторії методів розрахунку залізобетонних конструкцій НДІБК.

Автор висловлює подяку за наукові консультації д.т.н. А.І. Лантух-Лященко.

ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ присвячено аналізу способів отворення поперечно напружених залізобетонних елементів, впливу пресування та раннього навантаження на фізико-механічні властивості бетону та несучу здатність конструкцій.

За результатами праць Е.Фрейсине, Ф.Леонгардта, Х.Рьша, Т.Ліна, Г.Кані, В.В.Михайлова, О.О.Гвоздева, П.Л.Пастернака, Г.І.Бердичевського, В.М.Байкова, В.О.Калатурова, О.А.Гершберга,

В. М. Баженова, Б. В. Стефанова, С. М. Бадіча, Л. І. Іосилевського та багатьох інших встановлено, що всі існуючі механічні способи попереднього напруження залізобетонних конструкцій передбачають передачу зусилля натягу арматури на затверділий бетон після досягнення ним заданої міцності.

Аналіз впливу пресування та раннього навантаження на фізико-механічні властивості бетону, виконаний за дослідженнями О. В. Саталкіна, Л. Е. Лессе, Р. Лерміта, І. Воломея, Г. З. Лохвицького, І. Н. Ахвердова, С. М. Бадіча, Л. П. Макаренка, І. Р. Скукашвили, Г. В. Мурашкіна, А. Л. Цююньського, М. Г. Елсакидзе, Т. Кльза, А. Н. Попова, О. Я. Верга, В. А. Зедгенідзе, В. М. Оплачка, Ю. А. Іванова, І. С. Прокоповича показав, що найбільш ефективним способом підвищення міцності є обтиснення свіжоукладеної бетонної суміші. Вивчення пропозицій Ю. В. Зайцева, В. М. Баташова, А. Я. Варашкіна, О. В. Голишева, Н. І. Карпенка, Д. Р. Маїляна, Л. Р. Маїляна, А. І. Козачевського, Л. А. Мурашко, Л. Л. Леміша, А. С. Дехтяря, Л. І. Стороженка, Т. М. Пецольда, О. Л. Шагіна, В. І. Федорчука, Д. В. Васенка, В. І. Половця, Б. А. Климова, В. Я. Бачинського, А. Н. Замбури, С. С. Ватагіна, С. Й. Літвяка, Л. І. Сироватка, В. Т. Матвеева, А. А. Варламова, та ін. щодо впливу попереднього обтиснення бетону при оцінці несучої здатності конструкцій дозволило зробити висновок про можливість використання моделі "еквівалентного" перерізу НДІБК, в основу якої покладені інтегральні характеристики залізобетону, реальні діаграми деформування бетону та арматурної сталі. Модель дозволяє врахувати зміцнення бетону обтисненням і початковий напружено-деформований стан конструкції у розрахунках. Проте для її використання потрібне обґрунтування можливості застосування діаграми вісьового навантаження обтисненого бетону для розрахунку позациентрово стиснених та згинальних залізобетонних елементів. Крім цього, аналітичне рішення рівнянь напружено-деформованого стану на підґрунті вказаної моделі для поширеного у будівництві круглого поперечного перерізу залізобетонних елементів на сьогодні відсутнє.

Проведений аналіз дозволив визначити наступні завдання досліджень:

1. Створити залізобетонні конструкції підвищеної несучої здатності, обтиснені шляхом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш, запропонувати новий спосіб їх виготовлення, принципи конструювання опалубочної форми та оснастки, які

забезпечити передачу сил попередньої напруги на суміш, а також заходи по надійному контролю якості обтиснених конструкцій.

2. Розробити методикку експериментальних досліджень несучої здатності позацентрово стиснених та згинальних залізобетонних елементів, виготовлених за методом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш.

3. Експериментально виявити закономірності впливу зусилля попереднього обтиснення бетонної суміші на несучу здатність залізобетонних елементів. Оцінити можливість використання діаграм осового навантаження бетону для розрахунку позацентрово стиснених та згинальних залізобетонних елементів, одержаних за новим способом.

4. На основі моделі "еквівалентного" перерізу розробити аналітичні залежності напружено-деформованого стану та методикку визначення несучої здатності залізобетонних позацентрово стиснених та згинальних елементів круглого та прямокутного перерізів, обтиснених за новим способом. Оцінити достовірність розрахунків шляхом співставлення теоретичних та експериментальних даних.

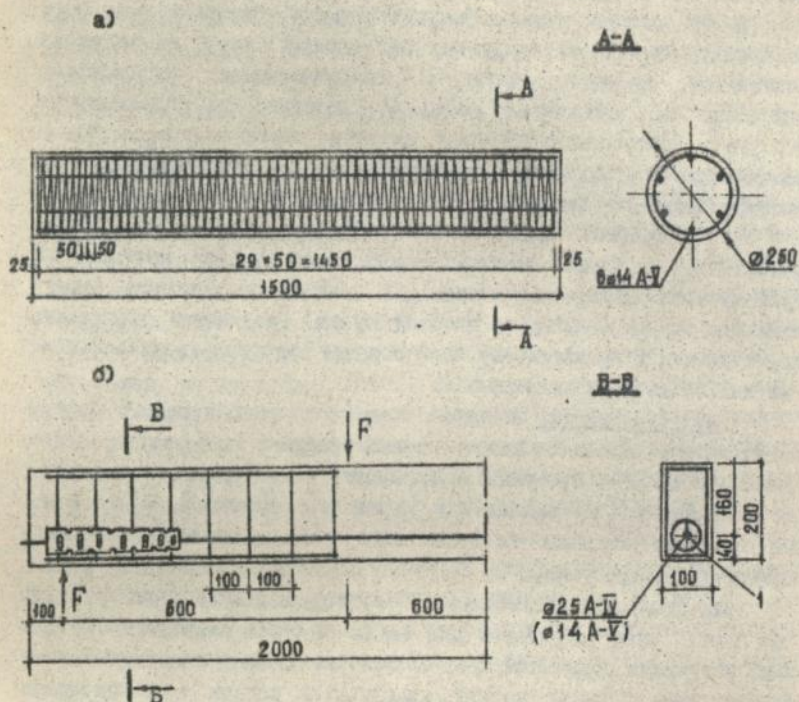
5. Розробити алгоритм та програму для практичного розрахунку на ЕОМ залізобетонних конструкцій круглого й прямокутного поперечних перерізів, обтиснених шляхом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш. Результати досліджень перевірити при промисловому виготовленні натурних великорозмірних залізобетонних конструкцій.

У другому розділі наведені основні положення нового методу виготовлення, принципи конструювання опалубки та оснастки, відомості про обсяг і програму експерименту, конструкції позацентрово стиснених і згинальних зразків, наведені результати виготовлення основних та допоміжних зразків, а також методика проведення випробувань.

Для отворення залізобетонних конструкцій з натягом арматури "на суміш" було розроблено ряд нових способів виготовлення, для яких загальним принципом було обтиснення свіжоукладеної бетонної суміші дією зусилля натягу арматури з повної або частковою передачею сил попереднього напруження на свіжоукладену бетонну суміш і подальше твердіння суміші в умовах обтиснення конструкції.

На основі аналізу запропонованих конструкторсько-технічних

рішень і виходячи з умов та можливостей виробництва (Мостозагін N 73), був прийнятий для впровадження найбільш надійний варіант механічного натягу арматури з повнов передачею сил попереднього напруження "на суміш". Для реалізації прийнятого способу виготовлення були детально розроблені конструкції нової опалубочної форми та нового анкерного елемента. З метою зменшення сил тертя, які перешкоджають устальненню суміші при обтисненні, форму виконали пазовою-рухомою з улаштуванням деформаційних швів по периметру її поперечного перерізу. Це дозволило забезпечити можливість передачі сил попереднього напруження на озвіоукладену бетонну суміш повсяк усюї конструкції.



У роботі наведені основні результати експериментального виготовлення позацентрово стиснених, згинальних і супроводжувальних зразків, доведена здійсненість щодо створення залізобетонних конструкцій з натягом арматури на свіжоукладену бетонку суміш.

Відповідно прийнятій програмі досліджень експеримент включав виготовлення та випробування 22 балок, 10 колон і 138 допоміжних зразків бетону. З них 12 залізобетонних балок (БНс) і 6 колон (КНс) виготовлялися з натягом арматури та передачев зусилля попереднього напруження за новим способом "на суміш", 4 балки (БНу) були попередньо напружені за способом "на упори", 6 балок (В0) та 4 колони (К0) були звичайні залізобетонні (конструкція зразків див. рис. 1). В експериментах варіювалися рівні попереднього стиснення, процент армування та ексцентриситет прикладення випробувального навантаження.

Практичне виготовлення дослідних зразків за способом "на суміш" і моделювання роботи бетонної суміші під навантаженням за допомогою пружинних вахелевих пристроїв показало, що для прийнятого складу бетону (1:1,19:2,72:0,4 при $\rho = 450 \text{ кг/м}^3$) у процесі попереднього стиснення у початковий період спостерігається інтенсивне витіснення з суміші візуально чистої води і помітне її ущільнення ($\epsilon = 50-55 \cdot 10^{-3}$), згодом витіснення припиняється і деформації ущільнення суміші зменшуються, а після фіксації арматури при сталому навантаженні деформації стають на два порядки нижчі ($\epsilon = 18-25 \cdot 10^{-3}$) і до закінчення періоду тузавлення цементу майже згасають. Міцність такого бетону в напрямі стиснення перевищувала її значення у ортогональній площині до 30 %. При цьому за перші три доби природнього твердіння міцність стисненого бетону була вищою ніж вихідного до 2,6 разів.

Випробування основних залізобетонних та допоміжних зразків виконувалися за методикой НДІВК по знаходженню параметрів діаграми " $\sigma - \epsilon$ " бетону з урахуванням особливостей наведених досліджень. В процесі випробувань залізобетонних дослідних елементів вимірювалися: зусилля навантаження зразків, повздовжні деформації бетону і арматури, вигин. Фіксувалися також зусилля тріщинотворення, несуча здатність та руйнівне навантаження. Несучу здатність зразків встановлювали як максимум на кривій "навантаження-кривина". За руйнівне приймалося навантаження, при якому відбувався викол бетону стисненої зони.

При обробці дослідних даних враховувалися власна вага, початкові деформації, викликані обтисненням суміші і розпресуванням, усадков та повзучість бетону.

У третьому розділі наведені результати випробувань зразків позацифровано стиснених та згинальних залізобетонних елементів, супроводжувальних зразків бетону і арматури, а також дані спостережень деформацій зразків перед випробуваннями. Основні результати експериментальних досліджень наведені в табл. 1. Характерні залежності "M- ϵ " для колон і "M - κ " для балок представлені на рис. 2.

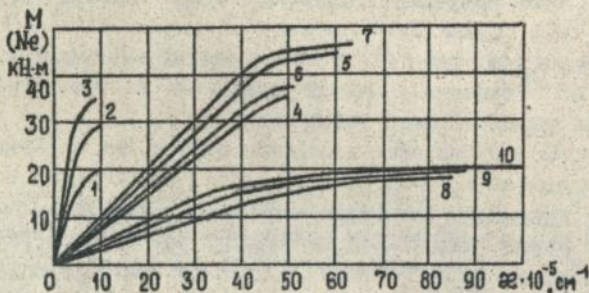


Рис. 2. Залежності "навантаження-кривина"

1;2;3 - для колон з r відповідно 0;2;4 МПа;
4;5;6;7 - для балок з $\mu = 2,2\%$, де 6 - для способу "на упори", а інші з r відповідно 0;3;10 МПа;
8;9;10 - для балок з $\mu = 0,63\%$ і r відповідно 0;2; 4 МПа.

З аналізу результатів випробувань випливає, що в трати попереднього напруження в арматурі залізобетонних елементів, виготовлених за способом "на суміш" нижчі, ніж ті, що в традиційних; максимальне підвищення міцності бетону досягає 2, 3 рази при тиску на суміш $r = 10$ МПа, найбільш інтенсивний ріст міцності спостерігається до тиску 6 МПа, значення відносних деформацій стиску ϵ_{BR} та почат-

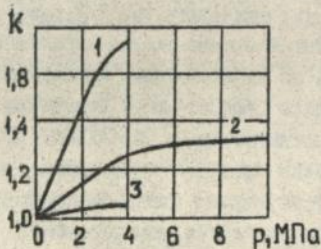


Рис. 3. Залежність "K - ρ "

1 - для колон; 2 - для балок з $\mu = 2,2\%$; 3-для балок з $\mu = 0,63\%$

ків деформацій стиску ϵ_{BR} та почат-

Таблиця 1

Результати випробувань дослідних зразків

Стиснення Р, МПа	R _b , МПа	Шифр зразка	λ μ-БНх x100, %	Для Са- лок h ₀ /h	Для колон e ₀ /D	Несуча здат- ність		ε _{бу} x 10 ⁻³	Відно- шення теор. несуч. здат. до експ.
						балок М, кН и	колон N, кН		
4,0	66,8	БНс-I-1	0,64	0,80	-	20,08	-	321	1,01
		БНс-I-2	0,63	0,82	-	19,26	-	308	1,06
		КНс-I-1	1,52	-	0,040	-	3597,2	313	0,90
		КНс-I-2	1,46	-	0,035	-	3600,8	298	0,95
2,0	58,3	БНс-I-3	0,64	0,81	-	19,08	-	315	0,94
		БНс-I-4	0,63	0,80	-	18,39	-	336	0,97
		КНс-I-3	1,52	-	0,040	-	3076,4	329	0,93
		КНс-I-4	1,45	-	0,039	-	3084,6	-	0,96
0,0	38,8	Б0 -I-5	0,62	0,79	-	17,77	-	364	1,01
		Б0 -I-6	0,63	0,80	-	17,03	-	353	1,07
		К0 -I-5	1,52	-	0,040	-	1999,6	-	0,97
		К0 -I-6	1,54	-	0,036	-	2109,5	362	0,92
5,0	73,0	БНс-II-1	2,25	0,79	-	47,92	-	314	0,89
		БНс-II-2	2,24	0,81	-	47,27	-	307	0,93
2,5	63,3	БНс-II-3	2,26	0,80	-	45,56	-	337	0,91
		БНс-II-4	2,23	0,79	-	43,92	-	-	0,95
0,0	39,2	Б0 -II-5	2,18	0,79	-	37,22	-	378	1,01
		Б0 -II-6	2,21	0,82	-	36,49	-	366	1,08
10,0	84,0	БНс-III-1	2,24	0,81	-	48,39	-	305	0,92
		БНс-III-2	2,21	0,79	-	49,35	-	299	0,89
5,0	74,6	БНс-III-3	2,22	0,81	-	47,60	-	320	0,93
		БНс-III-4	2,24	0,80	-	47,72	-	312	0,91
		КНс-III-3	1,45	-	0,178	-	2051,1	312	0,98
		КНс-III-4	1,40	-	0,179	-	2038,1	303	0,99
0,0	38,7	Б0 -III-5	2,19	0,82	-	36,21	-	369	1,06
		Б0 -III-6	2,17	0,78	-	36,73	-	357	0,98
		К0 -III-1	1,54	-	0,184	-	1249,6	366	0,93
		К0 -III-2	1,52	-	0,186	-	1229,1	347	0,95
		БНу-III-7	2,18	0,81	-	38,88	-	346	0,95
		БНу-III-8	2,20	0,80	-	38,20	-	-	1,07
		БНу-III-9	2,20	0,82	-	39,06	-	349	0,99
		БНу-III-10	2,22	0,79	-	36,50	-	363	1,04

кового модуля пружності E_c підвищилися до 45%; в дослідних балках з μ біля 0,63% несуча здатність у результаті обтиснення "на суміш" незначно міров підвищилася; в балках з μ біля 2,2% при p рівному 5 та 10 МПа вона зросла відповідно до 31 та 34%; у колонах з ексцентриситетом прикладення навантаження рівним 47 мм при $p = 5$ МПа несуча здатність підвищилася на 65%, а при випадковому ексцентриситеті ($e=10$ мм) і тиску $p = 4$ МПа вона зросла на 75 %. Це видно з рис. 3, де K - відношення несучої здатності елемента, обтисненого за способом "на суміш", до звичайного залізобетонного.

За результатами експериментальних даних розподіл деформацій по перерізу в усіх дослідних зразках був близький до лінійного закону, а несуча здатність суттєво залежала від величини плеча внутрішньої пари сил та фізико-механічних властивостей бетону, які поліпшувалися у разі його обтиснення. Найбільш ефективно були використані зусилля попереднього обтиснення для підвищення несучої здатності в дослідних колонах, завантажених з випадковим ексцентриситетом.

Як і очікувалося, обтиснені "на суміш" і традиційні зразки залізобетонних елементів руйнувалися під навантаженням при досягненні бетоном стисненої фібри граничних деформацій ϵ_{bu} . З цього випливає, що гранична деформативність може бути одним з критеріїв руйнування обтиснених залізобетонних конструкцій. Руйнування зразків балок відбувалося внаслідок виколу бетону стисненої зони. При цьому в зразках з натягом арматури на бетонну суміш процес руйнування мав характер менш пластичний порівняно з традиційними. Руйнування колон, обтиснених за способом "на суміш", відбувався протягом більш тривалого часу завдяки поперечному армуванню зразків. Характер руйнування супроводжувальних зразків обтисненого бетону був аналогічним основним.

За результатами статистичної обробки експериментальних даних величина коефіцієнту варіації основних параметрів не перевищила 10%, що свідчить про одержання достовірних даних про поведінку залізобетонних елементів під навантаженням і дозволяє виконати оцінку точності розрахункового апарату для визначення несучої здатності елементів круглого та прямокутного поперечних перерізів з натягом арматури на свіжоукладену бетонну суміш.

У четвертому розділі представлені результати розробки методики визначення напружено-деформованого стану та оцінки несучої

здатності позацентрово стиснених залізобетонних елементів круглого поперечного г-рерізу, а також обґрунтування можливості використання реальних діаграм осьового стиснення бетону для розрахунку конструкцій з натягом арматури за способом "на суміш". Запропоновано модифікований метод знаходження параметрів діаграми "σ - ε" бетону для неоднорідного стиснення, що дозволяє одержати надійні дані поведінки бетону під навантаженням аж до моменту його руйнування. Диференціальна залежність "напруження-деформації" одержана у вигляді степінного поліному

$$\sigma_i = \sum_{i=0}^4 A_i \varepsilon_i^i, \quad (1)$$

де

$$A_0 = 2a_0 b_1 + a_1 b_0 + \mu [(1 + (1 - 2\chi_0) b_1) (c_0 - \chi_0 b_0 c_1) + (1 - \chi_0) (1 - \chi_0 b_1) b_0 c_1];$$

$$A_1 = 2(a_2 b_0 + 2a_0 b_2) + \mu [c_1 ((1 - \chi_0) b_1) (2b_1 - 3\chi_0 b_1 + 1) - 2\chi_0 b_0 b_2 (2 - 3\chi_0)] + 2(1 - 2\chi_0) b_2 c_1];$$

$$A_2 = 4a_2 b_1 + 5a_1 b_2 + 3[a_2 b_0 + \mu b_2 c_1 (1 - \chi_0 (2b_1 - 3\chi_0 b_1 + 1))];$$

$$A_3 = 5a_3 b_1 + 6a_2 b_2 - 2\chi_0 b_2^2 c_1 \mu (2 - 3\chi_0);$$

$$A_4 = 7a_3 b_2$$

Тут a_i і b_i - коефіцієнти поліномів, які описують експериментальні залежності "σ - ε" і "ε - σ". За допомогою коефіцієнтів C_n апроксимовані дослідні ділянки діаграми "σ_n - ε_n". Початкові умови в залежностях враховані коефіцієнтами з нульовими індексами.

Результати обробки дослідних даних неоднорідного стиснення за запропонованим методом та методиком НДБК показали, що запропонований метод дозволяє зменшити вплив експериментальних помилок.

Дані порівняння показали, що діаграми неоднорідного та осьового навантаження обтисненого бетону близькі, розбіжності основних параметрів не перевищують 10%. Це дало підстави використати діаграми осьового навантаження обтисненого бетону для розрахунку нормальних перерізів згинальних та позацентрово стиснених залізобетонних конструкцій, обтиснених за способом "на суміш".

Для виводу рівнянь напружено-деформованого стану перерізу

були використані робочі передумови методики НДБК, застосовані для вирішення поставленої задачі. У відповідності з прийнятими передумовами рішення описується системою рівнянь:

$$F(x, \xi_1) - N = 0; \quad (2)$$

$$\Phi(x, \xi_1) - M = 0 \quad (3)$$

Для круглого поперечного перерізу з довжиною хорди $b_1 = 2\sqrt{2Rh_1 - h_1^2}$ (рис. 4) напружено-деформований стан визначається рівняннями

$$N = 2 \left[\sum_{k=1}^n a_k \int_0^{h_b} \sqrt{2Rh - h^2} (\xi_1 - kh)^k dh - \psi_{bt} R_{bt} \int_{h_b}^{aR} \sqrt{2Rh - h^2} dh \right] + \sum_{i=1}^m \sigma_{e,i} A_{e,i}; \quad (4)$$

$$M = 2 \left[\sum_{k=1}^n a_k \int_0^{h_b} h \sqrt{2Rh - h^2} (\xi_1 - kh)^k dh - \psi_{bt} R_{bt} \int_{h_b}^{aR} h \sqrt{2Rh - h^2} dh \right] + \sum_{i=1}^m \sigma_{e,i} A_{e,i} h_{e,i} \quad (5)$$

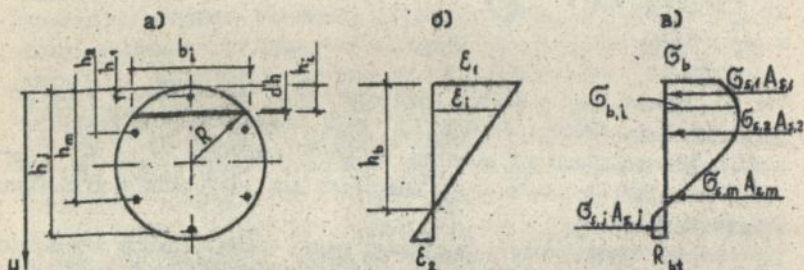


Рис. 4. До оцінки напружено-деформованого стану нормального круглого перерізу

а) - поперечний переріз; б) - епіюра деформацій;

в) - те саме, напружень.

Рівняння описують першу і другу форму рівноваги перерізу. Границі між ними є значення межі h_b різне величини $2R\xi_1 / (\xi_1 + \xi_{b,1})$.

Пряме рішення поставленого завдання одержане з використанням рекурентної формули для інтегралу від диференційного біному шляхом знаходження аналітичних залежностей, описуючих напружено-

деформований стан перерізу. У результаті перетворень рівняння (4) і (5) мають вигляд:

$$N = 2 \left[\sum_{k=1}^n N_k - N_{bt} \right] + \sum_{i=1}^n \alpha_{n,i} A_i ; \quad (6)$$

$$N = 2 \left[\sum_{k=1}^n N_k - N_{bt} \right] + \sum_{i=1}^n \alpha_{n,i} A_{n,i} h_{n,i} ; \quad (7)$$

де

$$N_1 = a_1 [\xi_1 I_0 - \alpha I_1];$$

$$N_2 = a_2 [\xi_1^2 I_0 - \alpha \xi_1 I_1 + \alpha^2 I_2];$$

$$N_3 = a_3 [\xi_1^3 I_0 - \frac{3}{2} \alpha \xi_1^2 I_1 + 3\alpha^2 \xi_1 I_2 - \alpha^3 I_3];$$

$$N_4 = a_4 [\xi_1^4 I_0 - 2\alpha \xi_1^3 I_1 + 6\alpha^2 \xi_1^2 I_2 - 4\alpha^3 \xi_1 I_3 + \alpha^4 I_4];$$

$$N_5 = a_5 [\xi_1^5 I_0 - \frac{5}{2} \alpha \xi_1^4 I_1 + 10\alpha^2 \xi_1^3 I_2 - 10\alpha^3 \xi_1^2 I_3 + 5\alpha^4 \xi_1 I_4 - \alpha^5 I_5];$$

$$N_{bt} = \psi_{bt} R_{bt} I_0^{bt};$$

$$M_1 = a_1 [\xi_1 I_1 - \alpha I_2];$$

$$M_2 = a_2 [\xi_1^2 I_1 - \alpha \xi_1 I_2 + \alpha^2 I_3];$$

$$M_3 = a_3 [\xi_1^3 I_1 - \frac{3}{2} \alpha \xi_1^2 I_2 + 3\alpha^2 \xi_1 I_3 - \alpha^3 I_4];$$

$$M_4 = a_4 [\xi_1^4 I_1 - 2\alpha \xi_1^3 I_2 + 6\alpha^2 \xi_1^2 I_3 - 4\alpha^3 \xi_1 I_4 + \alpha^4 I_5];$$

$$M_5 = a_5 [\xi_1^5 I_1 - \frac{5}{2} \alpha \xi_1^4 I_2 + 10\alpha^2 \xi_1^3 I_3 - 10\alpha^3 \xi_1^2 I_4 + 5\alpha^4 \xi_1 I_5 + \alpha^5 I_6];$$

$$M_0 = \psi_{bt} R_{bt} I_1^{bt} ;$$

а інтеграл I_k для круглого перерізу знаходиться із залежно-

сті

$$I_k = -2(2R)^{k+2} (I'_{k-1} - I'_k) \quad (8)$$

Тут

$$I_k = \frac{h_b^{k+1} \sqrt{(2R-h)h_b}}{2(k+2)(2R)^{k+2}} + \frac{2k+3}{2k+4} I_{k-1};$$

$$I_0 = -\frac{3}{16} \left[\frac{h-R}{R^2} \sqrt{2Rh-h^2} + \arcsin \frac{h-R}{R} \right] + \frac{h\sqrt{(2R-h)h}}{4R^2};$$

При $k=0$ інтеграл визначається за формулою:

$$I_0 = \frac{1}{2} \left[(h-R) \sqrt{2Rh-h^2} + R^2 \arcsin \frac{h-R}{R} \right] \quad (9)$$

Для розтягнутої зони перерізу (якщо вона має місце) значення I_k^{bt} визначають з формул:

$$I_0^{bt} = \frac{1}{2} \left[\frac{\pi R^2}{2} - (h_b - R) \sqrt{2Rh_b - h_b^2} - R^2 \arcsin \frac{h_b - R}{R} \right]; \quad (10)$$

$$I_1^{bt} = \frac{1}{2} \left[\frac{\pi R^2}{2} - R^2 \arcsin \frac{R - h_b}{R} - \frac{3}{2} (2Rh_b - h_b^2) \sqrt{2Rh_b - h_b^2} - R(R - h_b) \sqrt{2Rh_b - h_b^2} \right]; \quad (11)$$

Рівняння НДС (6) та (7) універсальні і при заміні інтегрального виразу (8), який характеризує геометрію перерізу, дають можливість вирішувати задачі для різних типів перерізу. У роботі використані ці рівняння для знаходження параметрів НДС прямокутного перерізу дослідних балок.

Для визначення несучої здатності обтиснених за способом "на суміш" і традиційних позакентрово стиснених та згинальних залізобетонних елементів круглого та прямокутного поперечних перерізів розроблені алгоритм і програма для ЕОМ.

Оцінка достовірності розрахункового апарату для нового способу попереднього обтиснення дослідних балок і колон показала, що при $\bar{X}=0,945$ коефіцієнт варіації відношення теоретичних і експериментальних значень несучої здатності складає 4,7%. Для традиційно виготовлених конструкцій при $\bar{X}=1,000$ той же коефіцієнт дорівнює 5,1%.

Аналіз результатів дозволяє зробити висновок, що розроблений розрахунковий апарат достатньо добре віддзеркалює модельований процес і може бути рекомендований для використання при оцінці несучої здатності позакентрово стиснених та згинальних елементів круглого і прямокутного перерізів, обтиснених шляхом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш, рівно як і для

традиційних.

У п'ятому розділі розглянуті питання, пов'язані з впровадженням результатів досліджень у виробництво, наведені основні дані по виготовленню, конструкції і контролю якості натурних залізобетонних стояків, обтиснених шляхом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш.

У відповідності з викладеном у роботі методикой були розроблені і виготовлені мостові залізобетонні стояки круглого поперечного перерізу діаметром 1200 мм і довжиною до восьми метрів. Розроблена, запроєктована і виготовлена повдовж-рухома секційна опалубочна форма, натяжне обладнання та інша необхідна оснастка. Наведені основні результати практичного виготовлення натурних стояків, де відзначається надійність роботи комплексу обладнання, витиснення з бетонної суміші візуально чистої без домішок води, наводяться дані щодо переміщень секцій опалубки і уповільнення бетонної суміші.

Для забезпечення надійного контролю якості відповідальних залізобетонних конструкцій розроблено новий пристрій для взяття проб бетону стандартних розмірів безпосередньо з обтисненого стояка. Використання запропонованого пристрою поряд з застосуванням ультразвукового імпульсного та інших стандартних методів дозволило забезпечити необхідний контроль якості обтисненого стояка. Результати контролю якості показали підвищення міцності обтисненого бетону на 37-49% порівняно з вихідним, що дозволило одержати економії при впровадженні запропонованих стояків у виробництво. В результаті першого в практиці будівництва впровадження великорозмірних конструкцій з натягом арматури на свіжоукладену бетонну суміш вдалося зменшити витрати цементу на чверть та знизити необхідну марку цементу з 800 до 400.

Спостереження за поведінкою обтиснених стояків під навантаженням в опорах естакадної частини мостового переходу через р. Дніпро в м. Дніпродзержинську показали відсутність будь-яких дефектів, підтвердили високу якість обтиснених за способом "на суміш" конструкцій. Досягнуто підвищення міцності бетону за рахунок його обтиснення в стояках опор мостів промислового виготовлення до 1,5 рази, що дозволило забезпечити їх проектний клас бетону В 40 при зменшенні витрат цементу на 25% і знизенні його марки з 800 до 400.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Створені залізобетонні конструкції підвищеної несучої здатності з натягом арматури та передачею сил попереднього напруження на свіжоукладену бетонну суміш. Запропоновані і розроблені: новий спосіб виготовлення, нова повздовж-рухома секційна форма, оригінальна конструкція анкерного елемента, новий пристрій для контролю якості обтисненого бетону конструкції.

2. Розроблена і реалізована методика експериментальних досліджень позацентрово стиснених та згинальних залізобетонних елементів, обтиснених за способом "на суміш", яка дозволила одержати достовірні дані параметрів навантаження та деформування дослідних зразків у широкому діапазоні варіюваних факторів.

3. Одержані достовірні експериментальні залежності "навантаження - кривина" позацентрово стиснених та згинальних залізобетонних елементів для змінних в межах до 10 МПа величин зусилля попереднього обтиснення бетонної суміші. Для дослідних перемарованих балок досягнуто підвищення несучої здатності 23-34% за рахунок обтиснення їх за новим способом. Ефект підвищення несучої здатності у колонах досягав 75%. Аналіз результатів показав, що втрати попереднього напруження в арматурі, викликані деформаціями усадки і повзучості обтисненого бетону менші, ніж ті що при традиційному виготовленні.

4. Призмове міцність бетону при тиску рівному 10 МПа підвищилася у 2,3 рази порівняно з вихідним. Найбільш інтенсивний ріст міцності спостерігався при підвищенні тиску до 5 МПа. При цьому були підтверджені анізотропні властивості обтисненого бетону. Значення початкового модуля пружності E_p та відносних деформацій стиснення ϵ_{br} зростали з підвищенням тиску пресування, і при $p=10$ МПа підвищення складало 40-45%.

5. Розроблено модифікований диференціальний метод обробки експериментальних даних, що дозволив коректно співставити діаграми " $\sigma - \epsilon$ ", одержані за результатами випробувань балок та прямих, і прийти до висновку про можливість використання діаграм осьового стиснення при розрахунку залізобетонних елементів, попередньо напружених за способом натягу арматури на свіжоукладену бетонну суміш.

6. Одержані залежності для визначення напружено-деформованого стану залізобетонних позацентрово стиснених та згинальних елементів у реальному діапазоні зміни властивостей міцності та

деформування стисненого бетону для будь-якого етапу навантаження. Виведено аналітичне рішення рівнянь напружено-деформованого стану круглого поперечного перерізу залізобетонних конструкцій. Розроблено алгоритми і програму для розрахунку на ЕОМ.

7. Виконаний аналіз точності розрахункового апарату шляхом співставлення на його основі чисельних даних з даними експериментальних досліджень несучої здатності стиснених за способом "на суміш" елементів, показав, що розрахунковий апарат, який базується на використанні повної діаграми "σ - ε" осового стиснення бетону, достатньо точно відображає модельований процес і може рекомендуватися для використання при оцінці напружено-деформованого стану і несучої здатності стиснених залізобетонних елементів.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Чеканович М.Г. Авторське свідоцтво СРСР N 1330284, МКВ Е 04 G 21/12. "Спосіб попереднього напруження арматури залізобетонних изделий и форма для изготовления предварительно напряженных железобетонных изделий". Опубл. 15.08.87. Бюл. Відкриття, винаходи N 30.
2. Чеканович М.Г., Рассказов О.О. Авторське свідоцтво СРСР N 1548389, МКВ Е 04 G 21/12 "Спосіб изготовления предварительно напряженных железобетонных изделий". Опубл. 07.03.90. Бюл. Відкриття, винаходи N 9.
3. Чеканович М.Г. Авторське свідоцтво СРСР N 1678618, МКВ Е 04 G 21/12 "Форма для изготовления предварительно напряженных железобетонных изделий". Опубл. 23.09.91. Бюл. Винаходи N 35.
4. Чеканович М.Г. Авторське свідоцтво СРСР N 1728427, МКВ Е 04 G 5/08. "Арматурный элемент преднапряженной железобетонной конструкции". Опубл. 23.04.92. Бюл. Изобретения. N 15.
5. Чеканович М.Г. Авторське свідоцтво СРСР N 1747632, МКВ Е 04 G 21/12 "Спосіб изготовления предварительно напряженных железобетонных изделий". Опубл. 15.07.92. Бюл. Винаходи N 26.
6. Чеканович М.Г. Авторське свідоцтво СРСР N 1749040, МКВ Е 04 G 21/12 "Форма для изготовления предварительно напряженных железобетонных изделий". Опубл. 23.07.92. Бюл. Винаходи N 27.
7. Чеканович М.Г. Авторське свідоцтво СРСР N 1752901, МКВ Е 04 G 21/12 "Устройство для изготовления предварительно напряженного железобетонного элемента". Опубл. 07.08.92. Бюл. Винаходи N 29.
8. Rasskazov A.O. Čekanovič M.G. Čiastocné predpätie konstrukcie s prenesením predpätia na nezatvrdnutú betónovú zmes//Konstrukcie z čiastocné predpätého betónu. Konferencia s medzinárodnou účasťou, Bratislava, 1988, p. 58.
9. Рассказов О.О., Чеканович М.Г. Спосіб виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій, що поліпшує їх якість// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво - Київ: Будівельник, 1988, вип. 43, с. 62-63.
10. Чеканович М.Г. "Некоторые особенности изготовления и рас-

чета железобетонных конструкций, преднапрягаемых путем натяжения арматуры на свежесуложенный бетон" Деп. "ВНИИИС Госстроя СССР" Вып. 9 за 1989, N 9451, 20 с.

11. Рассказов А. О., Чеканович М. Г. "Качество и долговечность железобетонных конструкций, преднапрягаемых путем натяжения арматуры на свежесуложенный бетон" // Пути повышения качества, надежности и долговечности конструкций инженерного назначения". Тез. докл. - Хабаровск, 1988, - С. 37-39.

12. Рассказов О. О., Чеканович М. Г. Экспериментальні дослідження впливу стиснення на бетону суміш // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво - Київ: Будівельник, 1989, вип. 48, с. 59-61.

13. Чеканович М. Г. "Прочность предварительно обжатых железобетонных элементов" // Научно-техническое обеспечение выполнения постановления по строительству автомобильных дорог в нечерноземной зоне РСФСР Тез. докл. XII "Всеобщей научно-технической конференции" - Москва, 1989, - С. 64-66.

14. Рассказов А. О., Чеканович М. Г. "Особенности предварительного напряжения железобетонных конструкций при формировании" // Моделирование и оптимизация технологических процессов и элементов конструкций сооружений инженерного назначения". Тез. докл. - Хабаровск, 1989, - С. 22-23.

15. Чеканович М. Г. "Арматурный элемент для напряженно-армированных железобетонных конструкций" // Моделирование конструкций сооружений инженерного назначения". Тез. докл. - Хабаровск, 1989, - С. 23-24.

16. Чеканович М. Г. "Эффективный метод повышения прочности предварительно обжатых железобетонных конструкций" // Материалы XIII Международной конференции молодых ученых в области бетона и железобетона. "НИИЖБ" "ВНИИЖБ" "ВНИИЖБ" и др. - Иркутск, 1990, с. 130-131.

17. Рассказов О. О., Чеканович М. Г. "Новий спосіб напруження арматури при виготовленні попередньо-напружених залізобетонних конструкцій" // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Київ: Будівельник, 1990, вип. 46, с. 64-66.

18. Чеканович М. Г. "Надежность железобетонных конструкций, обжатых при твердении" // Обеспечение надежности дорог, мостов и безопасности движения" Тез. докл. III Краевой научно-технической конф. Краснодарского правления ВНИО АГ и ДХ - Анапа, 1990, - С. 77.

19. Чеканович М. Г. Деякі особливості розрахунку мостових конструкцій з передачею сил попередньої напруги на бетону суміш // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво - Київ: Будівельник, 1992, вип. 50, с. 106-111.

20. Чеканович М. Г. Напружено-деформований стам залізобетонних стовпів мостів круглого перерізу // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво - Київ: Будівельник, 1992, вип. 50, с. 112-116

21. Чеканович М. Г. Патент N 1799970, МКВ Е 04 G 21/12. "Способ изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций и устройство для его осуществления" Опубли. Бюл. Выходы N 3 за 1993 г.

Шлп. до друку 24.03.93 . Формат 80×84^{1/16}.
Папір друк. № 3 . Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 116 .
Умовн. фарбо-відб. 1,39 . Обл.-вид. арк. 1,0 .
Тираж 100 . Зам. № У-40 . Безплатно.

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

101010

Бесплатно

Ав 27.113