

Харківська державна академія залізничного транспорту

Салія Гурам Шалвович

УДК 624.012.46+624.016.5

**Попередньо напружені конструкції зниженої енерговитратності зі склопластиковим і сталевим армуванням**

Спеціальність 05.23.01 - будівельні конструкції,  
будівлі та споруди

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків -1999

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі залізобетонних і кам'яних конструкцій Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури Міністерства освіти України та в Сухумській лабораторії склопластикових конструкцій Інституту космічних споруд Грузинського технічного університету Міністерства освіти Грузії.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук , професор Клімов Юлій Анатолійович, Київський науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, завідувач відділу теорії та методів розрахунку залізобетонних конструкцій;
- доктор технічних наук , професор Пустовойтов Володимир Павлович, Харківська державна академія міського господарства, завідувач кафедри будівельної механіки;
- доктор технічних наук , професор Стороженко Леонід Іванович, Полтавський державний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, професор кафедри конструкцій із метала , дерева і пластмас.

Провідна установа:

- Український зональний науково-дослідний і проектний інститут з цивільного будівництва (ВАТ "КиївЗНДІЕП") Державного Комітету України у справах будівництва, архітектури і житлової політики (м. Київ).

Захист відбудеться 13 травня 1999 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.02 Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

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

Автореферат розісланий 13 квітня 1999 г.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, канд. техн. наук, доцент

Єрмак Є.М.

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Попереднє напруження є одним із основних шляхів підвищення ефективності несучих конструкцій. Збільшуючи тріщиностійкість, воно забезпечує можливість перекриття великих прольотів і застосування високоміцної сталюї арматури. Використання склопластикової або інших видів неметалевої арматури без попереднього напруження взагалі обтяжливо через її високу деформативність. Проте попередньо напружені конструкції, що випускаються підприємствами будівельної індустрії, дуже енергоємкі, що в умовах ринку, дефіциту енергоресурсів обумовлює їхню високу вартість.

Серйозну проблему представляють анкерування неметалевої арматури, її захист від впливів середовища бетону, застосування в монолітних, статично невизначених конструкціях.

Особливі труднощі обумовлює відсутність, наприклад, у Грузії виробництв, які випускають неметалеву і високоміцну сталю арматуру для попередньо напружених конструкцій, що потребує створення нових ефективних видів неметалевої арматури і методів її виготовлення, які відповідають наявним можливостям, а також неенергоємких

шляхів застосування сталюї арматури класу А-III, яка випускається металургійними підприємствами Грузії та України, у попередньо напружених конструкціях.

Наявність підприємств з агресивними середовищами, відсутність бази по виготовленню конструкцій, що мають високу корозійну стійкість, діелектричні та інші цінні експлуатаційні показники, доцільність використання вітчизняної сталюї арматури, підвищена енерговитратність і вартість попередньо напружених елементів диктують необхідність проведення досліджень у зазначених напрямках.

**Мета роботи** - створення попередньо напружених елементів і систем зниженої енерговитратності з склопластиковим і сталюим армуванням, розробка принципів їх конструювання і розрахунку з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності.

**Основні задачі дослідження:**

1. Створити самозаанкерену склопластикову арматуру, що забезпечує можливість попереднього напруження склопластбетонних конструкцій при мінімумі енерговитрат.
2. Експериментально дослідити властивості розробленої склопластикової арматури.
3. Запропонувати ефективні попередньо напружені склопластбетонні конструкції зниженої енерговитратності на основі використання розроблених видів склопластикової арматури.
4. Розробити конструкції з багатоетапним натягуванням склопластикової арматури і методику розрахункового визначення його параметрів.
5. Створити попередньо напружені склопластбетонні конструкції зниженої енерговитратності з зовнішнім і внутрішнім склопластиковим армуванням, що полімеризується безпосередньо у виробі.
6. Експериментально дослідити роботу запропонованих попередньо напружених склопластбетонних конструкцій при дії механічних, електричних і кліматичних факторів.
7. Розробити комбіновані конструкції з склопластбетонних і склопластикових елементів.
8. Розробити локально попередньо напружені залізобетонні конструкції заводського виготовлення зниженої енерговитратності і систему їх обтиснення.
9. Створити систему деформаційного зміцнення арматури без використання енергоємких висаджених голівок.
10. Провести експериментальні дослідження з оцінки можливості використання арматури класу А-III в локально попередньо напружених конструкціях.
11. Побудувати принципи розрахунку розроблених конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності та особливостей їх роботи в цілому.
12. Впровадити результати роботи.

**Наукову новизну** роботи складають:

- розроблені принципи створення склопластикової арматури, встановлені закономірності її деформування при короткочасній і тривалій дії навантаження;
- запропоновані принципи конструювання попередньо напружених елементів зі склопластиковою арматурою, що має петльові, анкерні закінчення;
- розроблене багатоетапне натягування арматури попередньо напружених склопластбетонних згинальних елементів і методика розрахунку його параметрів;
- методика оцінки втрат напружень в арматурі запропонованих склопластбетонних конструкцій;
- експериментально виявлені закономірності деформування розроблених попередньо напружених склопластбетонних конструкцій;

- принцип одержання попередньо напружених елементів зниженої енерговитратності зі склопластиковою зовнішньою і внутрішньою арматурою, що полімеризується в конструкціях, і результати експериментальних досліджень ефективності обтиснення;
- запропоновані шляхи направленого формування ефективних комбінованих конструкцій зі склопластикових і попередньо напружених склопластбетонних елементів;
- експериментальне обґрунтування можливості застосування арматури класу А-III у локально попередньо напружених залізобетонних конструкціях;
- принципи зниження енерговитратності локально попередньо напружених залізобетонних конструкцій заводського виготовлення;
- запропоновані підходи до розрахунку розроблених конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності та особливостей, обумовлених застосованими способами їхнього попереднього напруження.

**Практична значимість** роботи полягає в тому, що розроблені нові види арматури, способи їх одержання, попередньо напружені конструкції на їх основі, системи зміцнення, розроблений розрахунковий апарат відкривають широкі можливості зведення будівель і споруд як спеціального, так і масового характеру зі зниженою витратою енергетичних і матеріальних ресурсів, високим ступенем індивідуалізації, збільшеними прольотами і сітками колон, що забезпечують одержання вільних площ із гнучким, трансформуємим плануванням.

**Особисто отримані дисертантом** результати, що виносяться на захист:

- новий тип склопластбетонних попередньо напружених конструкцій зі стержневою самозаанкерною арматурою, яка не контактує з бетоном;
- нові види склопластикової самозаанкереної арматури і неенергоємкі способи її одержання;
- експериментально встановлені закономірності роботи запропонованої арматури при короткочасній і тривалій дії навантаження;
- дані експериментальних досліджень розроблених склопластбетонних конструкцій;
- спосіб багатоетапного натягування склопластикової арматури і методика розрахункового визначення параметрів зазначеного натягування;
- розроблені попередньо напружені бетонні елементи з зовнішнім склопластиковим армуванням, яке одержується способом намотки і контактного формування, а також конструкції з комбінованим армуванням;
- дані експериментальних досліджень роботи елементів із зовнішнім склопластиковим армуванням при впливі механічних, електричних навантажень і зовнішнього середовища;
- комбіновані конструкції на основі склопластбетонних і склопластикових елементів;
- енергозберігаюча система механічного зміцнення арматури класу А-III за допомогою розроблених установок, без використання висаджених голівок;
- експериментальне обґрунтування можливості використання арматури класу А-III в локально попередньо напружених конструкціях;
- локально попередньо напружені залізобетонні конструкції зниженої енерговитратності заводського виготовлення;
- принципи розрахунку розроблених конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності та особливостей їх роботи;
- дані про впровадження запропонованих конструкцій.

**Апробація результатів** дисертаційної роботи. Головні положення і результати роботи доповідались на Міжнародному конгресі МКПК-98 "Просторові конструкції в новому будівництві і при реконструкції будівель і споруд" (Москва, 1998 р.), Міжнародних

конференціях "Удосконалення будівельних матеріалів, технологій, методів розрахунку конструкцій у нових економічних умовах" (м. Суми, 1994 р.), "Промисловість будматеріалів і будіндустрія, енерго- і ресурсозбереження в умовах ринкових відносин" (м. Белгород, 1997 р.), "Інженерні проблеми сучасного бетону і залізобетону" (м. Мінськ, 1997 р.), 5-ій Конференції Міжрегіональної асоціації "Залізобетон"(Москва, 1998 р.), Всесоюзному семінарі Комісії з методів і засобів оцінки стану крупних інженерних споруд АН СРСР, що будуються і експлуатуються (Інгурі ГЕС, 1986 р.), Українських наукових конференціях: "Застосування пластмас у будівництві і міському господарстві" (м.Харків, 1986...1996 р.), " Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону" (м. Київ, 1996 р.), сесії ФІП (м. Тбілісі, 1988 р.); наукових конференціях ХДТУБА (м. Харків, 1985... 1999 р.).

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковані у 49 роботах, в тому числі в одній монографії.

**Обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, 10 розділів, висновків, списку літератури із 237 найменувань, додатка. Вона включає 265 сторінок основного машинописного тексту, 159 рисунків, 21 таблицю.

Автор щиро вдячний своїм науковим консультантам - докторам технічних наук, професорам Медзмаріашвілі Е.В. та Шагіну О.Л.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У розділі 1**, присвяченому аналізу стану проблеми, відзначається, що попереднє напруження знайшло широке застосування у вітчизняному і закордонному будівництві, створена широка мережа підприємств будіндустрії, що випускає різноманітні типи збірних попередньо напружених конструкцій.

У розробку способів попереднього напруження і методів розрахунку, у дослідження даного типу конструкцій при різноманітних режимах впливів, оцінку втрат напружень внаслідок повзучості, усадки бетону, релаксації арматури та інших факторів внесли значний внесок Александровський С.В., Барашиков А.Я., Бердичевський Г.І., Гвоздєв А.А., Голишев О.Б., Дмитрієв С.А., Заврієв К.С., Кізірія Г.В., Мадатян С.А., Маркаров М.О., Махвіладзе Л.С., Михайлов В.В., Михайлов К.В., Пірадов О.Б., Щербаков Е.Н., Леонгардт Ф., Маньель Г., Фрейсине Е. та ін.

Домінуючим на підприємствах будіндустрії СНД є електротермічний спосіб натягування на упори. Проте в існуючій економічній та енергетичній ситуації даний спосіб, що відрізняється великими витратами електроенергії на натягування арматури, висадку анкерних голівок, підвищеною витратою металу на виготовлення силових форм, недостатньою технологічною гнучкістю, стає неконкурентоспроможним. В умовах ринку необхідний пошук шляхів зниження енерговитратності попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

За останні роки намітилася тенденція розширення обсягів і областей застосування стрижневої неметалевої, зокрема, склопластикової арматури. В основному використовується внутрішнє стрижневе і фіброве неметалеве армування. При високих міцнісних показниках і низькому модулі деформацій застосування стрижневої неметалевої арматури в бетонних конструкціях без попереднього напруження практично неможливе. Найбільш серйозними проблемами при використанні напружуваної неметалевої арматури є анкерні і захватні обладнання, захист її від впливів середовища бетону, забезпечення міцності елементів за похилими перерізами. Виробництво неметалевої, наприклад, склопластикової арматури потребує дуже високих енерговитрат

і складного технологічного устаткування. Все це обумовлює необхідність проведення досліджень з метою розробки таких енергозберігаючих вирішень, які б дозволили у існуючих економічних умовах забезпечити випуск склопластикової арматури і ефективних попередньо напружених конструкцій з її застосуванням.

Конструкції із зовнішнім склопластиковим армуванням, що виконує одночасно силові і захисні від впливу середовища функції, виготовлялися дотепер без спеціального попереднього напруження.

Дослідженню конструкцій із внутрішнім і зовнішнім неметалевим армуванням, розробці методів розрахунку, технологій виготовлення присвячені роботи Асланової Л.Г., Ахвердова І.Н., Барашикова А.Я., Вільдавського Ю.М., Давидова С.С., Колякова М.І., Красовської Т.О., Михайлова К.В., Олексієнко Л.Г., Пецольда Т.М., Пустовойтова В.П., Потапова Ю.Б., Селяєва В.П., Соколова М.І., Солوماتова В.І., Фролова Н.П., Шагіна О.Л., Швидко Я.І. та ін.

Найбільш перспективним є неенергоємне механічне попереднє обтиснення з трансформацією конструкцій у відповідних випадках у комбіновані системи шпренгельного типу. Дослідженню різноманітних комбінованих конструкцій присвячені роботи Бондаренко В.М., Клімова Н.І., Крамаря В.Г., Медзмаріашвілі Е.В., Шагіна О.Л., Дишингера Ф., Леонгардта Ф. та ін.

Проведений аналіз показав, що проблема створення попередньо напружених конструкцій зниженої енерговитратності зі склопластиковою і сталлюю арматурою, методів їх розрахунку до теперішнього часу не знайшла свого ефективного вирішення. На основі проведеного аналізу в розділі 1 сформульовані основні задачі цієї роботи.

**Розділ 2** присвячений створенню нових видів склопластикової арматури (СПА).

Головна особливість їх полягає в тому, що анкерні кінцеві ділянки створюються у процесі виготовлення арматурного елемента заданої довжини, що відповідає конкретному склопластбетонному виробу. В основу запропонованого вирішення покладено принцип анкерування за рахунок зачеплення арматури за бетон, а не зчеплення. Це обумовлене тим, що зчеплення між склопластиком, що заздалегідь отвердів, і бетоном практично відсутнє.

Розроблено 3 типи самоанкереної у бетоні СПА, які представлені на рис.1. Більш високі деформативно-міцнісні показники має двохгілкова СПА (рис.1,а), яка одержана способом намотки склоровінгів або склволокон, просочених полімерним зв'язуючим, на обертову багатострумкову оправку (рис.2). При довжині СПА 5... 6 м доцільна організація обертання оправки в горизонтальній площині за аналогією з методом безупинного армування Михайлова В.В. У випадку великої довжини СПА намотка провадиться на нерухому оправку з використанням спеціального механізму укладки просочених полімерним зв'язуючим склоровінгів у її струмки до остаточного їх заповнення.

Рис.1. Типи СПА, що пропонуються:

а - двохгілкові, б - з петльовими закінченнями,

в - з

анкерними закінченнями

Рис. 2 . Намотка двохгілкової СПА в універсальній установці

Рис.3. Діаграми деформування двохгілкової СПА різного перерізу:

1- 0,5x1,0 см; 2 - 0,75x1,0 см; 3 - 1,0x1,0 см

Рис.4. Діаграма деформування СПА з петльовими закінченнями

У запропонованій СПА для посилення кінцевих петльових ділянок передбачена додаткова укладка вручну відрізків просоченого склоровінга заданої довжини, що забезпечує відповідне місцеве стовщення СПА (рис.1).. Після завершення процесу формування провадиться полімеризація СПА, а потім розбирання оправки і витягання виготовленого арматурного елемента.

Вибір типу зв'язуючого залежить від функціонального призначення конструкції, експлуатаційного середовища, режиму полімеризації, необхідних деформативно-міцнісних показників, способу виготовлення СПА.

Найбільш високу міцність забезпечує використання епоксидних смол. Дослідження з підбору співвідношення компонентів для двохгілкової СПА показали, що кількість зв'язуючого повинна складати 22...25%, скловолокна відповідно 78...75%.

Експериментально були підібрані для обладнання, яке використовували, раціональна швидкість намотки - 18 об/хв, що забезпечує кращі показники СПА, а також величина технологічного натягу скловолокна.

Для встановлення закономірностей деформування двохгілкової СПА при короткочасній і тривалій дії навантаження спільно з Мольським М.М. були проведені випробування на осьове розтягання. На рис.3 наведені діаграми деформування трьох серій зразків СПА різноманітного поперечного перерізу, тимчасовий опір  $\sigma_{cu} = 700...900$  МПа, модуль деформацій  $E_c = 5 \cdot 10^4$  МПа. Встановлено, що масштабний фактор впливає на міцність, але практично не впливає на величину модуля деформацій. При збільшенні площі перерізу в 3 рази величина тимчасового опору зменшувалася в 1,4 рази.

Випробування СПА при тривалій дії навантаження показали, що при рівні напружень 0,4 повне загасання деформацій повзучості відбувалося через 1000 годин; при рівні 0,6 - через 1700... 1900 годин; при рівні 0,8 деформації повзучості, хоча і незначні, мали місце і після 2000 годин. Величина границі тривалої міцності складає 0,7 від короткочасної.

Більш простим, що не потребує складного устаткування, істотної витрати енергії є контактне формування СПА холодного затвердіння із однонаправленим наповненням скловолокон. Воно може виконуватися вручну з нескладною механізацією і застосуванням простих металевих або дерев'яних оправок (по суті опалубочних форм). Запропонована СПА має петльові закінчення збільшеної товщини (рис.1, б). Внутрішні розміри петлі визначаються необхідною за розрахунком площею зрізу бетону, що знаходиться у середині петлі.

Проведені експерименти показали (рис.4), що СПА, яка одержується викладеним способом, однонаправленого наповнення на смолі ЕД-20, має тимчасовий опір  $\sigma_{cu} = 500... 600$  МПа, модуль деформацій  $E_c = (4...4,2) \cdot 10^4$  МПа.

Розроблена СПА хаотичного наповнення, яка має на кінцях стовщення, що забезпечують її анкерування в бетоні (рис.1,в). Експерименти показали, що при використанні епоксидних зв'язуючих можна одержати СПА хаотичного наповнення з тимчасовим опором  $\sigma_{cu} = 350$  МПа, модулем деформацій  $E_c = 3,3 \cdot 10^4$  МПа.

**Розділ 3** присвячений створенню попередньо напружених склопластбетонних конструкцій.

Розроблені види арматури і спосіб локального обтиснення дозволили в рамках цієї роботи запропонувати принципово новий підхід до створення попередньо напружених склопластбетонних елементів. Сутність його представлена на рис.5. У процесі бетонування виробу в ньому влаштовується паз, у якому розміщується напружувана СПА. Анкерні ділянки напружуваної СПА розташовуються в суцільних кінцевих зонах

виробу. При цьому стовщені анкерні ділянки на невеличку довжину (100... 200 мм) виходять у паз. З метою повного виключення зчеплення напруженої СПА з бетоном кінцевих суцільних зон її анкерні ділянки обмотуються 2 прошарками поліетіленової або іншої антиадгезійної плівки.

Попереднє напруження конструкції створюється після набору бетоном передаточної

міцності  $R^{cp}$ , величина якої призначається за аналогією з залізобетонними елементами. Воно здійснюється відтягуванням СПА униз прикладанням до неї зосереджених

навантажень  $F_p$ . У СПА виникає зусилля натягу  $N_{cp}$ , у багато разів переважаюче

величину навантажень  $F_p$ , що його визивають. Внаслідок анкерування СПА в кінцевих

зонах створюється обтиснення бетону зусиллям  $H_p$ , приблизно рівним, внаслідок

малості кута відтягування, величині зусилля натягу  $N_{cp}$ . Через невелику величину

навантаження  $F_p$  відтягування може проводитись за допомогою ручних гвинтових або

малих гідравлічних домкратів. Після створення натягу напружена СПА фіксується у

відтягнутому становищі за допомогою упорних вкладок, виконаних із бетону або іншого

матеріалу. Наступне зняття відтягуючих навантажень  $F_p$  призводить до того, що

СПА з такою ж силою  $F_p$  і практично за тією ж схемою передає навантаження на балку

уверх, вигинаючи її. Таким чином, створюється додаткове обтиснення елемента, тобто

попереднє напруження відбувається у 2 стадії. При цьому, як показують проведені

експерименти, величина обтиснення бетону на другій стадії складає 30...50% значення

обтиснення, яке утворене на першій стадії.

Таким чином, СПА по всій своїй довжині не має контакту з лужним середовищем

бетону, що відкриває можливість підбирати полімерне зв'язуюче для СПА, яке відповідає

конкретному експлуатаційному середовищу і забезпечує одержання необхідних

електрофізичних показників. Зокрема, стає можливим застосування поліефірних смол,

що мають істотно меншу, ніж епоксидна, вартість і які дозволяють одержувати СПА

достатньо високої міцності. Стає цілком прийнятним використання епоксидної і

поліефірної СПА холодного затвердіння, що призводить до мінімуму енергетичні

витрати на виготовлення арматури.

Для забезпечення необхідної вогнестійкості паз, у якому розташовується напружена

СПА, зачеканюється вогнезахисним матеріалом, який повинний бути достатньо

деформативним, щоб не впливати на статичну схему роботи запропонованої

конструкції, і не агресивним стосовно СПА.

Через те, що паз достатньо вузький, виникають труднощі розміщення в ньому всього

необхідного у відповідності з розрахунком кількості арматури. Тому частину

розрахункової СПА представляється доцільним розташовувати в стінках паза без

попереднього напруження, тобто переходити на змішане армування. На відміну від

аналогічних залізобетонних конструкцій у пазі слід розміщати не  $\frac{2}{3}$  загальної кількості

робочої арматури, а 80% і більше. Ненапружена СПА повинна бути стійкою в

середовищі бетону.

Однією із основних переваг запропонованої конструкції є можливість її монолітного

виконання. До теперішнього часу попереднє напруження монолітних

склопластбетонних конструкцій взагалі не застосовувалося через відсутність

ефективних способів його здійснення.



Представляється можливим попередньо напружувати на опорах і в прольотах статично невизначені нерозрізні балки (рис.6.), рами та ін., що раніше також не вдавалося здійснити при використанні традиційної СПА, яку одержували способом протяжки. При виготовленні запропонованих конструкцій відпадає необхідність у використанні металомістких опалубочних силових форм, що знижує вартість і істотно прискорює організацію виробництва конструкцій.

У місці виходу напруженої СПА в паз при відтягуванні виникає концентрація напружень, місцевий вигин арматури і змінання бетону. Додаткові до осьового розтягу місцеві вигинаючі зусилля сприймаються завдяки передбаченим при виготовленні СПА кінцевим стовщенням, зменшується змінання бетону.

Міцність запропонованих конструкцій за похилим перерізом забезпечується установленням у стінках паза вертикальних склопластикових сіток або місцевого армування зон дії значних головних розтягуючих напружень склопластиковими фібрами. У роботі наведені різноманітні схеми формування склопластикових сіток і фібр, стійких у середовищі бетону, способами косої перехресної і рядової намотки на різноманітних устаткуваннях.

У стінках паза сітки або фібри сполучаються із двохгілковою лужностійкою СПА, що розташовується у вертикальній площині. Сітки підв'язуються до СПА за допомогою склоровінга, просоченого полімерним зв'язуючим холодного затвердіння.

Розроблено методику розрахунку параметрів натягу, тобто розрахункового визначення величин стрілки відтягування  $Y_c$  і відтягуючого навантаження  $F_p$ , необхідних для створення в напруженій СПА потрібного значення зусилля  $N_{cp}$  натягу. Виходячи із розгляду деформованого стану напруженої СПА при відтягуванні, отримані спрощені залежності для визначення вказаних величин  $F_p$  і  $Y_c$ . Наприклад, у випадку відтягування двома силами у чвертях довжини паза

$$F_p = \sqrt{\frac{4N_{cp}^3}{E_{cp}A_{cp}} \cdot \frac{L_{cp} + 2L_k}{L_{cp}}}, \quad (1)$$

$$\sqrt{\frac{N_{cp}}{4E_{cp}A_{cp}} (L_{cp} + 2L_k)L_{cp}}, \quad (2)$$

де  $E_{cp}$  і  $A_{cp}$  - модуль деформацій і площа перерізу напруженої СПА,  $L_{cp}$  - довжина оголеної ділянки СПА в пази,  $L_k$  - довжина анкерної кінцевої ділянки СПА в припорній суцільній зоні.

За підрахованою заздалегідь величиною  $Y_{c,con}$  здійснюється контроль зусилля натягу  $N_{cp,con}$ .

При відтягуванні СПА і фіксації її становища за допомогою упорних вкладок, крім зусилля обтиснення бетону  $H_p \approx N_{cp}$ , створюється вигин.

Чим нижче розташована точка виходу СПА, тим ефективніше обтиснення. У роботі запропоноване використання багаторічного стягування і розсунення СПА в горизонтальній площині і наступного відтягування у вертикальній площині. Зазначене дозволяє при створенні одного і того ж значення зусилля натягу  $N_{cp}$  істотно зменшити величину стрілки відтягування  $Y_c$  у вертикальній площині.

Рис.5. Попередньо напружені згинальні елементи з двохгілковою арматурою: 1 - анкерна ділянка двохгілкової арматури; 2 - оголона ділянка напруженої арматури; 3 - упорна вкладка

Рис.6. Попередньо напружена нерозрізна балка: 1 - прольотна напружена СПА; 2 - упорна вкладка; 3 - опорна напружена СПА

Рис.7. Натягування СПА розсуненням в горизонтальній площині і відтягуванням у вертикальній

У роботі запропонована методика розрахунку багатоетапного натягу СПА і отримані відповідні розрахункові залежності для раціональних схем його здійснення. Наприклад, при створенні натягання за схемою, поданою на рис. 7, коли розсунення в горизонтальній площині здійснюються в трьох точках, а відтягування униз двома силами, сумарне зусилля натягу може бути визначене за залежністю

$$N_{cp} = \frac{4 \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + c^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} + 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + c^2} + L_n - L}{L} E_{cp} A_{cp}, \quad (3.)$$

де  $a$  - третина довжини паза;

$b$  - стрілка відтягування у вертикальній площині.

Вивченню закономірностей деформування і руйнації запропонованого нового типу склопластбетонних конструкцій були присвячені експерименти, у яких варіювалася площа перерізу напруженої СПА. Випробовувались балки довжиною 1200 мм (прольот 1000 мм), переріз 80x140 мм. У нижній зоні влаштовувався паз шириною 30 мм, глибиною 50 мм, у якому знаходилася горизонтально розташована двохгілкова СПА.

Довжина суцільних приопорних зон по 300 мм. Бетон  $R = 28,9$  МПа. Гілки СПА мали перерізи: серія 1 - 3x12 мм, серія 2 - 5x12 мм, серія 3 - 6x12 мм, посилення кінцевих ділянок СПА не провадилося. Обтиснення створювалося відтягуванням СПА силою, прикладеною до неї в середині довжини паза. Було зафіксовано, що при відтягуванні,

наприклад, у серії 3 деформації розтягання СПА в середній зоні склали  $\varepsilon_{cp} = 375 \cdot 10^{-5}$ , у

місці виходу СПА в паз зафіксований стиск  $\varepsilon_{cp} = -134 \cdot 10^{-5}$  на одній грані гілки,

розтягуючі напруження на протилежній грані склали  $\sigma_{cp} = 407$  МПа, тобто мав місце вигин у зоні виходу СПА в паз.

Обтиснення відбувалося при відтягуванні, а потім після зняття навантаження. Величина обтиснення на другій стадії складала 63,5% від аналогічної на першій стадії (рис.8.).

Навантаження тріщиноутворення в порівнянні з балкою без обтиснення зросло для серії 1 - у 2,2 рази, серії 2 - у 2,67 рази, серії 3 - у 2,83 рази. Деформування і руйнація відбувалися за аналогією з переармованими залізобетонними згинальними елементами (рис.9). Після зняття навантаження балки поверталися в положення, близьке до початкового. Значення руйнуючих навантажень: серія 1 - 17 кН, серія 2 - 19 кН, серія 3 - 21,5 кН.

Рис.8. Графік зростання деформацій обтиснення бетона майбутньої розтягнутої зони при здійсненні попереднього напруження

Рис.9. Зростання прогинів під навантаженням склопластбетонних балок: 1 - Б1(12х13 мм); 2 - Б2(12х5 мм); 3 - Б3(12х6 мм)

Рис.10. Кінематична схема намотувальної установки: 1 - неткана стрічка; 2 - бетонний елемент; 3 - патрон; 4 - клиноремінна передача; 5 - головний електропривод; 6 - редуктор; 7 - допоміжний електропривод; 8 - черв'ячний редуктор; 9 - муфта перемикавання; 10 - гитара шестірен; 11 - ланцюговий контур розкладки; 12 - каретка; 13 - електропривод формуючої голівки; 14 - просочувальна ванна; 15 - шпулярник

Рис. 11. Зіставлення графіків деформування центрально стиснутих комплексних елементів серій 1 - К-1, 2 - К-II, 3 - К-III, 4 - К-IV, 5 - К-V

Зіставлення результатів розрахунку за розробленою методикою з отриманими в експериментах даними показало, що різниця в значеннях, наприклад, напружень у СПА склала при натяганні 4,83%, у величинах стрілки відтягування 5,86%.

**У розділі 4** розглянуті попередньо напружені конструкції із зовнішнім і комбінованим склопластиковим армуванням, які розроблені для експлуатації в агресивних стосовно бетону середовищах і для випадків, коли необхідно забезпечити стабільність діелектричних властивостей електроізоляційного бетону. Склопластикові обойми, таким чином, виконують як захисні, так і силові функції. Тому при влаштуванні способом намотки структура (напрямки) армування обойми підбирається в залежності від виду напруженого стану, який у ній буде виникати при експлуатаційних навантаженнях. Відповідно технологічне устаткування повинно мати можливість варіювання структурою армування в достатньо широкому діапазоні. Використані в даних дослідженнях схеми намотувальних установок (рис .10) ХДТУБА і Сухумської лабораторії склопластикових конструкцій ГТУ, дозволяють одержувати рядкове армування у вигляді витків скловолокон, які щільно укладаються у кільцевому (поперечному) напрямку; косе перехресне армування, яке являє собою систему взаємно пересічних скловолокон із щільною укладкою в кожному напрямку, що забезпечує підвищену герметичність; армування нетканою стрічкою у вигляді структури із скловолокон основи, що укладаються спіралью і утокових ниток, що їх обплітають; косе перехресне армування нетканою стрічкою, яке сполучає намотку нетканою стрічкою з її циклічним переміщенням уздовж виробу, що обмотується.

Кути намотки можуть змінюватися в діапазоні від 300 до 850. У ще більшому діапазоні може змінюватися співвідношення кількості подовжніх (обмотуючих) і поперечних кромочних ниток. Крім того, на відміну від традиційного способу намотки нетканою стрічкою в даних дослідженнях у структуру армування вводилися додаткові нитки основи. Вони не пропускалися через обертову формуючу голівку, а подавалися безпосередньо на конструкцію.

Одержувана структура відрізняється можливістю управління анізотропією властивостей склопластикової обойми за рахунок зміни кута намотки стрічки до осі виробу, кута обплітання поперечних ниток і їхньої кількості шляхом регулювання швидкості обертання формуючої голівки, зміни ширини стрічки і кількості додаткових поперечних скловолокон, що проходять поза формуючою голівкою. Програмування одержання

заданих структур армування обойми виробу конкретних габаритів будується на відповідному сполученні режимів роботи розкладчика, що циклічно переміщається уздовж осі виробу, і закріпленої на ньому обертової формуючої голівки.

Дуже важливо, що представляється можливим здійснювати попереднє напруження не тільки поперечних, але і подовжніх скловолокон.

Попереднє напруження виробів створюється технологічним натягуванням скловолокон і усадкою полімерного зв'язуючого, особливо на поліефірній основі. Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що раціональним є натягування скловолокон, що складає 0,1 від розривного зусилля. Про ефективність елементів у склопластикових обоймах із технологічним натягуванням свідчать результати проведених експериментальних досліджень, у яких співставлялась робота круглих елементів  $d = 70$  мм,  $h = 350$  в обоймах товщиною  $\delta = 2$  мм із бетонів різноманітної міцності і трубчастих склопластикових зразків, заповнених бетоном, тобто які не мають технологічного обтиснення (рис.12).

Випробування показали, що склопластикова обойма в значно більшій мірі, ніж стальна, підвищує міцність круглого елемента (рис.11). При цьому з ростом міцності бетону ефект знижується: при  $R = 21,4$  МПа міцність зросла в 14 разів, при  $R = 43,5$  МПа - у 9 разів. Зростання міцності обумовлене трансформацією (завдяки обоймі) одноосового стиску в нерівномірний трьохосовий. Не обтиснуті заповнені бетоном трубчасті зразки показали максимальне зростання міцності в 4...7 разів, тобто відсутність технологічного обтиснення суттєво знижує ефективність обойми.

Елемент проходить 3 різноманітних якісних стадії: стадія лінійного деформування; нелінійного деформування в результаті утворення мікротріщин; лінійного деформування, що завершується руйнацією (рис. 13), але вже бетону з порушеною суцільністю, який має значно менший модуль деформацій.

На розтягування у машині УВМ-50 випробовувалися бетонні стандартні вісімки в склопластикових обоймах товщиною в серії 1 -  $\delta = 1$ мм, серії 2 -  $\delta = 2$ мм, серії 3 -  $\delta = 3$ мм. Максимальне збільшення міцності мало місце при обоймі  $\delta = 3$ мм і склало 3,7 рази.

З метою підвищення тріщиностійкості розроблені попередньо напружені бетонні елементи в склопластикових обоймах.

Обтиснення проводиться запропонованим Шагіним О.Л. способом, за яким відразу після формування обойми елемент обтискується з торців і знаходиться в цьому положенні до повного затвердіння і набору склопластиком міцності. Після цього обтиснення припиняється, бетонний сердечник прагне повернутися в початкове становище, але склопластик перешкоджає, внаслідок чого бетон частково залишається обтиснутим.

Навантаження, що створює попереднє напруження, у торцях може прикладатися по осі або ексцентрично, наприклад, до згинальних елементів.

Запропоновано електроізоляційні попередньо напружені конструкції зниженої енерговитратності. У них використані суперпластифікатори, що дозволяють знижувати кількість води в бетоні і забезпечують у зв'язку із вказаним одержання достатньо високих показників електроізоляції. При склопластикових обоймах гарячого затвердіння передбачається устрій в обтиснутих виробках каналів для виходу через них вологи в процесі багатогодинної полімеризації з одночасним вентиляванням каналів. Після завершення полімеризації канали заповнюються просоченими однонаправленими склоровінгами або хаотично наповненими відрізкамі скловолокна. Утворюється додаткове внутрішнє армування. Суміщення процесу сушіння бетону і полімеризації

обойми дозволяє знизити витрати енергії. Якщо обтиснення виробу зберігати до кінця полімеризації внутрішньої арматури, буде мати місце ще і додаткове попереднє напруження.

З метою кількісної оцінки ефективності викладеного попереднього напруження був проведений комплекс експериментальних досліджень центрально розтягнутих і згинальних елементів. На розтягування випробовувалися бетонні стандартні вісімки перерізом 50x50 мм у склопластикових обоймах, отриманих намоткою нетканої стрічки із співвідношенням кількості обмотуючих і кромочних ниток 3:1, смола ЕД-20, товщина обойми  $\delta = 1,65$  мм. Обтиснення створювалося в металевих рамках до рівня напружень  $\sigma_{ep} = 0,6 R_s$ . Серія 1 включала попередньо напружені зразки, серія 2 - без попереднього напруження. Тріщиностійкість попередньо напружених зразків виявилася в 1.52 рази вищою. На відміну від залізобетонних конструкцій, попереднє обтиснення підвищило в 1.39 рази міцність конструкції. Показане пов'язано з "допомогою" розтягнутого бетону з тріщинами склопластиковій обоймі, по якій і відбувалася руйнація. Через малість ширини розкриття тріщин склопластик у місці тріщини працює в умовах впливу крайового ефекту, стиснення поперечних деформацій. Попереднє обтиснення сприяє більш пізній появі тріщин і меншій ширині їх розкриття, що відсуває момент розірвання склопластика.

Діаграми деформування нелінійні, що пояснюється не тільки нелінійним характером "допомоги" бетону між тріщинами обоймі, але й суттєвою нелінійністю деформування самого склопластика застосованої структури в подовжньому напрямку (уздовж обмотуючих ниток).

Менший ефект був отриманий у випробуваннях згинальних елементів у склопластикових обоймах, виготовлених способом намотки. Балки перерізом 80x140 мм мали прольот 1000 мм, навантажувались двома силами в третинах прольоту. Навантаження тріщиноутворення в попередньо напружених балках було в 1,34 рази, а несуча спроможність у 1,15 рази вища, ніж у балок в обоймах без попереднього напруження. Таким чином, при згині ефективність попереднього обтиснення в досліджуваному випадку виявилася нижчою, ніж при осьовому розтягуванні.

**У розділі 5** наводяться аналогічні результати, що були отримані в експериментальних дослідженнях бетонних елементів в обоймах контактного формування на смолі ЕД-20 холодного затвердіння. Обойма створювалася формовкою просочених полімерною композицією прошарків склотканини Т-23. Обтиснення здійснювалося також у металевих жорстких рамках, установлених у машині УВМ-50. Фіксація зразків у рамках після обтиснення проводилася за допомогою гайок. Варіювався рівень обтиснення: серія 1 -  $\sigma_{ep} = 0,8R_v$ , серія 2 -  $\sigma_{ep} = 0,6R_v$ , серія 3 -  $\sigma_{ep} = 0,4R_v$ , серія 4 -  $\sigma_{ep} = 0$ , тобто без попереднього напруження, а також кількість прошарків склотканини, тобто процент зовнішнього армування.

Виміри показали, що після зняття обтиснення значення напружень склали від 25 до 45% від величини початкового обтиснення.

Установлено, що навантаження тріщиноутворення при 3 прошарках склотканини було в 3,38 рази більшим, ніж при 1 прошарку, несуча спроможність у 3,04 рази.

Рівень попереднього напруження при обоймах контактного формування впливає в меншій мірі, ніж одержаних намоткою, хоча і достатньо відчутно. Так, при одному прошарку обтиснення з рівнем 0,4 призводить до збільшення навантаження

тріщиноутворення в 1,13 рази, при  $\sigma_{ep} / R_{ep} = 0,6$  - у 1,4 рази, при  $\sigma_{ep} / R_{ep} = 0,8$  - у 1,28

рази. Слід зазначити, що ефект підвищення тріщиноутворення при  $\sigma_{ep} / R_{ep} = 0,8$  падає в порівнянні з  $\sigma_{ep} / R_{ep} = 0,6$  у 1,09 рази. Несуча спроможність при 1 прошарку для випадку  $\sigma_{ep} / R_{ep} = 0,4$  зросла в 1,15 рази, при  $\sigma_{ep} / R_{ep} = 0,6$  - у 1,32 рази, при  $\sigma_{ep} / R_{ep} = 0,8$  - у 1,26 рази. Аналогічна тенденція мала місце і у випробуваннях конструкцій з двома і трьома прошарками склопластика. Таким чином, рівень обтиснення  $\sigma_{ep} / R_{ep} = 0,6$  є найбільш раціональним. Необхідно підкреслити, що даний рівень практично збігається з рекомендованим СНиП 2.03.01-84 [4] для попереднього напруження залізобетонних конструкцій.

Рис. 12. Склопластикові трубчасті елементи: заповнений бетоном і в початковому стані

Рис. 13. Характер руйнації елементів в склопластикових оболонках при осьовому стиску

Рис. 14. Загальний вигляд випробувань зразків імпульсною напругою при різних рівнях механічного навантаження

Рис. 15. Залежність напружень перекриття від рівня розтягуючого навантаження: 1 - звичайні; 2 - попередньо напружені елементи

Рис. 16. Монолітний бортовий елемент: 1 - напружена СПА; 2 - упорна вкладка; 3 - нижнє склопластикове армування контактного формування; 4 - ненапружена СПА; 5 - склопластикова панель-оболонка; 6 - верхнє зовнішнє склопластикове армування; 7 - монолітний бетон; 8 - склопластиковий болт

Випробування згинальних елементів в обоймах контактного формування показали, що величина моменту тріщиноутворення в балках без обтиснення складала  $M_{ccc}^{on} = 184,8 \text{ кН} \cdot \text{см}$ , руйнуючого моменту для бетонної балки без обойми  $M_{ccc} = 74,37 \text{ кН} \cdot \text{см}$ , тобто обойма в 2,48 рази підвищила тріщиностійкість конструкції. У попередньо напружених балках в обоймах момент тріщиноутворення склав  $M_{ccc}^{on} = 231 \text{ кН} \cdot \text{см}$ , тобто вище, ніж у балках в обоймах без обтиснення на 32,1%. Величина руйнуючого згинального моменту у балках без обтиснення  $M_u = 480,15 \text{ кН} \cdot \text{см}$ , у попередньо напружених  $M_{pu} = 577, \text{ кН} \cdot \text{см}$ , тобто в 1,2 рази вища. Таким чином, в згинальних елементах ефект від обтиснення менший, ніж при обоймах, одержаних намоткою.

Розроблено спосіб підвищення несучої здатності гнучких позакентрово стиснутих елементів приформовкою зовнішнього склопластбетонного армування в сполученні з механічним обтисненням.

Відповідно до можливого електротехнічного призначення бетонних елементів в обоймах були проведені дослідження їх опору одночасним механічним та електричним впливам. Зокрема, з метою оцінки їх роботи при впливі імпульсних електричних напруг була розроблена спеціальна установка для випробувань на розтягування, що разом із генератором імпульсних напружень ГН-0,6 Харківського державного політехнічного університету складала єдиний комплекс, який дозволив реалізувати одночасні електричні і механічні впливи. Особливість установки полягала в склопластикових товстостінних ізолюючих стійках силової рами, виготовлених способом намотки. Установка

розташовувалася в зоні дії ГИ-0,6 (рис.12.). Електричні напруги створювалися грозовими імпульсами 1,2/50 як для об'єктів із рівнем ізоляції, що відповідає класу електричних напруг 300 кВ. Тривалість фронту імпульсу склала 1,2 мкс, тривалість імпульсу - 50 мкс.

Випробовувались 2 серії зразків-вісімок у склопластикових обоймах: серія 1 із попереднім напруженням, серія 2 - без попереднього напруження. Бетон - висушений  $R = 21,0$  МПа; смола-ЕД-20 холодного затвердіння, два прошарки склотканини  $T - 23$ . Виробуваний зразок закріплювався в захватах установки, після чого ГИ-0,6 підключався до верхньої частини її нерухомої рами, нижня частина установки, відділена склопластиковими стійками, заземлювалася. Гідравлічним домкратом створювався перший рівень механічного навантаження, потім включався ГИ-0,6 і на розтягнутий зразок подавався грозовий імпульс. Якщо подана величина імпульсу не викликала перебиття, подавалася напруга на 10кВ більша і т.д. до встановлення величини імпульсних напруг, що викликають перебиття. Дана величина уточнювалася шляхом поступового зниження значень імпульсів, які подавались. Далі прикладалося наступне навантаження і процедура повторювалася.

У ненавантажених зразках величина напруг перебиття склала 120 кВ, значення питомої напруги перебиття 10 кВ/см. Отримане цілком прийнятне для більшості електроізолюючих несучих конструкцій, що застосовуються.

Дуже важливим було забезпечення неможливості пробою по повітрю між захватами, що мали гострі кромки. З цією метою захвати були захищені алюмінієвими екранами (рис. 14). Тому в проведених випробуваннях перебиття в усіх випадках відбувалося по поверхні досліджуваних зразків, доріжка проходження розряду розташовувалась між алюмінієвими екранами.

Із збільшенням розтягуючого навантаження до появи тріщин значення напруг перебиття в звичайних і попередньо напружених зразках були постійними й однаковими. При наближенні до навантаження тріщиноутворення величина напруг перебиття починала падати. Тому що величина навантаження тріщиноутворення у попередньо обтиснутих зразках була у 1,5...1,65 рази вищою, відповідно було вище і значення навантаження, при якому починалося зменшення величини напруг перебиття (рис.15.). При подальшому рості розтягуючого навантаження, зменшення значення напруг перебиття було лавинним. Аналогічні результати були отримані в експериментальних дослідженнях впливу механічних навантажень на величину

питомого об'ємного електричного опору  $\rho_v$  елементів із висушеного бетону в склопластикових оболонках контактного формування. Випробування на осьове розтягування проводилися в машині УВМ-50. Зразки ізолювалися від захватів і самої машини за допомогою гумових прокладок товщиною 5мм. Після появи тріщин мало місце лавинне падіння значення опору ізоляції, у попередньо напружених зразках воно відбувалося при навантаженнях у 1,53 рази більших, ніж у зразках без попереднього напруження. Величина навантаження, при якій відбувалося лавинне зменшення опору ізоляції, у попередньо напружених балках у склопластикових обоймах контактного формування була у 1,55 рази більшою, ніж у балках без обтиснення.

Таким чином, попереднє напруження істотно підвищує ефективність роботи електроізолюючих несучих бетонних елементів у склопластикових обоймах.

**Розділ 6** присвячений розробленим комбінованим конструкціям із попередньо напружених склопластбетонних елементів і склопластикових оболонок. У радіопрозорих конструкціях покриттів монолітні (рис. 16) або збірні бортові (балкові) елементи з попередньо напруженою внутрішньою СПА і зовнішньою обоймою сполучаються зі

склопластиковими панелями-оболонками, що виготовляються довжиною до 9... 12 м і діаметром до 2,5 м способом намотки на циліндричну або іншої форми оправку з наступною (після полімеризації) розрізкою на 2 і більш частин уздовж утворюючих. Бортовий склопластбетонний елемент може мати не тільки внутрішнє, але і зовнішнє шпренгельне підкріплення з двохгілковою СПА.

Розроблені конструкції радіотехнічного призначення у вигляді склопластикових замкнутих циліндричних оболонок із спеціальними бетонними бічними днищами, армованими внутрішньою попередньо напруженою СПА і зовнішнім склопластиковим армуванням контактного формування.

Тому що розроблені конструкції експлуатуються на відкритому повітрі, були проаналізовані результати проведених натурних досліджень та випробувань, які показали, що при гіршому для склопластика сполученні кліматичних впливів міцність згинальних елементів в обіймах знижується на 20...22%.

**У розділі 7** представлені розроблені залізобетонні локально попередньо напружені конструкції заводського виготовлення зниженої енерговитратності, орієнтовані на переважне використання сталюї арматури класу А-III ( А-IIIв ), що випускається металургійними підприємствами Грузії та України. Схеми здійснення попереднього обтиснення конструкцій із сталюим армуванням принципово не відрізняються від аналогічних для елементів зі склопластиковою арматурою з петльовими закінченнями. Але анкерування сталюї напружуваної і ненапружуваної арматури забезпечується за рахунок зчеплення.

Тому що модуль деформацій сталюї арматури значно вищий, ніж бетону, величина відтягуючого навантаження  $F_p$  на порядок менша утворюваного нею зусилля  $N_{sp}$  натягування в напруженій арматурі, а стрілка відтягування  $Y_{sp}$  менша, ніж при застосуванні склопластикової арматури.

Використовуються опалубочні термоформи (з індивідуальною паровою сорочкою), у яких проводиться формування і термовологісна обробка з дискретною, порціонною подачею пару, що забезпечує істотну його економію. Виключається використання енерговитратних пропарювальних камер.

Головна увага була приділена зниженню енергетичних і матеріальних витрат при переробці і використанні арматури. Представилося доцільним розробити систему механічного зміцнення витяжкою без використання енергомістких висаджених голівок.

При традиційному електротермічному способі натягування арматури на упори форм зазначені голівки необхідні, тому технології витяжки та устаткування, що застосовуються, побудовані також на їх використанні. У локально попередньо

напружених конструкціях напружувана і ненапружувана арматура класу А-III<sub>в</sub> використовується без висаджених голівок, тому була розроблена установка, що дозволяє робити зміцнення витяжкою також без використання висаджених голівок (рис.17).

Наявність двох спарених гідроциліндрів з великим ходом дозволяє витягувати стрижні діаметром до 36 мм, довжиною до 12 м. Захват стрижнів здійснюється також за допомогою пневматики та гідравліки. Установка легко перенастроюється на витяжку стрижнів різноманітної довжини. В установці для зміцнення витяжкою арматури діаметром до 20 мм (рис.18) використовується один гідроциліндр. Таким чином, розроблена система зміцнення витяжкою дозволяє не тільки традиційно зменшувати витрати арматурної сталі, але й забезпечувати економію електроенергії.

Локальне попереднє напруження конструкцій проводиться на спеціально розробленому стенді (рис.19) шляхом відтягування напружуваної арматури в пазі униз шляхом



надавлювання на неї за допомогою гідравлічних домкратів і наступної фіксації положення арматури пропусканням упорних стрижнів. На відміну від електротермічного способу натягування, який застосовується на підприємствах будіндустрії, дане обтиснення практично не потребує витрат електроенергії. Перевагою в порівнянні зі способом натягування на упори є можливість виготовлення в одній і тій же формі виробів різної довжини без наступної обрізки кінцевих ділянок арматури істотних розмірів. Зазначене дозволяє формувати вироби довільної, немодульної довжини, що важливо в умовах ринку, який потребує індивідуалізації будівель.

**У розділі 8** експериментально оцінена можливість застосування в локально попередньо напружених конструкціях арматури класу А-III.

У багатьох випадках будівельні організації не мають у своєму розпорядженні можливості зміцнення арматури і при перекритті прольотів збільшеної довжини зштовхуються з проблемою армування попередньо напружених конструкцій при відсутності високоміцної сталі. У роботі експериментально обґрунтована можливість використання в локально попередньо напружених конструкціях арматури класу А-III без зміцнення витяжкою. Зазначене може бути здійснено завдяки тому, що при локальному обтисненні втрати напружень істотно менші, ніж при традиційних способах, і в більшості випадків менші встановленого нормами мінімального значення 100 МПа. У арматури класу А-III відсутні втрати від релаксації напруг; є можливість збільшення кількості напруженої арматури стосовно ненапруженої у стінках паза, що дозволяє підвищити величину зусилля обтиснення. У цих же цілях можна допустити підвищений граничний рівень напружень в арматурі при обтисненні.

Рис. 17. Схема установки для зміцнення арматури діаметром до 36 мм: 1 - кінцевий пневмоциліндр; 2 - рухомий зажим; 3 - механізм фіксації; 4 - рама; 5 - механізм видачі стрижня; 6 - пневмоциліндр механізму видачі; 7 - рухомий зажим; 8 - пневмоциліндр захватного обладнання; 9 - гідроциліндр; 10 - пневмоциліндр механізму фіксації стрижня

Рис. 18. Установка для зміцнення витяжкою арматури класу А-III діаметром до 20 мм

Рис. 19. Схема стенда для попереднього напруження конструкцій: 1 - сталезалізобетонний фундамент; 2 - опорна підкладка; 3 - напружена конструкція; 4 - упорна рама; 5 - напружена арматура; 6 - домкрат

Для обґрунтування можливості використання арматури класу А-III у локально попередньо напружених елементах досліджувалося 2 серії балок перерізом 80x140 мм, довжиною 2000 мм. У балках улаштовувалися пази "знизу", у яких розташовувався стрижень Ф10мм класу А-III на відстані 45 мм від нижньої грані в серії 1 і на відстані 15 мм у серії 2 без попереднього напруження, щоб після відтягування в обох серіях балок стрижні знаходилися на одному рівні. У стінках паза встановлювалися каркаси з подовжньою арматурою 5 мм класу  $B_p$ -I.

Відтягування проводилося двома силами  $F_p$  у чвертях довжини паза, що складала 1400 мм, переріз паза 30x50 мм, довжина суцільних приопорних зон 300 мм, бетон  $R = 32,1$  Мпа.

Дослідне значення деформацій у напруженій арматурі склало  $\varepsilon_{sp,con}^{on} = 140 \cdot 10^{-5}$ ; натяг 21,98 кН. Величина натягу, отримана розрахунком за розробленою методикою склала

23,6 кН, відмінність між дослідними і розрахунковими значеннями 7,4%. Різниця між дослідними і розрахунковими значеннями стрілок відтягування 6,55%.

Експериментально встановлені втрати від повзучості й усадки бетону в 2,02 рази менші, ніж підраховані за СНиП 2.03.01-84, які склали 60,69 МПа, що менше мінімальної встановленої нормами величини 100 МПа. Саме зазначене забезпечує можливість застосування вітчизняної арматури класу А-III у локально попередньо напружених конструкціях. Величина руйнуючих навантажень у середньому складала для обтиснутих балок  $F_U = 13,7$  кН, без обтиснення -  $F_U = 13,0$  кН, тобто несуча спроможність була приблизно однаковою.

**У розділі 9** запропоновані принципи розрахункової оцінки настання граничних станів досліджуваних конструкцій на основі використання програмних комплексів "Міраж" та ін., які широко застосовуються. Особливістю є те, що для конструкцій зі склопластиковою корозійностійкою внутрішньою арматурою відпадає необхідність в оцінці тріщиностійкості, друга група граничних станів визначається тільки прогинами. Для конструкцій із зовнішнім армуванням придатність до нормальної експлуатації визначається герметичністю склопластикових обойм, опором електричної ізоляції. Граничний стан коротких стиснутих елементів в обоймах в основному визначається попередньо встановлюваним допустимим значенням подовжніх деформацій, гнучких елементів - їх стійкістю.

Розроблена методика розрахункової оцінки величини втрат напружень у запропонованих склопластбетонних конструкціях від повзучості й усадки бетону.

Значення контролюючого в СПА напруження визначається за аналогією зі СНиП 2.0301-84, як для випадку натягування на бетон.

У розрахунках запропонованих конструкцій на дію навантаження враховується фізична і геометрична нелінійність. Розрахунок статично невизначених систем, у яких вони використовуються, здійснюється з урахуванням перерозподілу зусиль. Слід зазначити, що розроблена попередньо напружена конструкція із самоанкереною склопластиковою арматурою являє собою один раз зовнішньо статично невизначену конструкцію особливого шпренгельного типу, яка складається зі склопластикової шпренгельної стрижневої частини і склопластбетонної балкової внутрішньо статично невизначеної частини. Розрахунок зазначеної конструкції здійснюється за методом сил. Наприклад, при розрахунку конструкції, арматура якої відтягнута однією силою в середині довжини паза  $L_{cp}$ , доцільно за зайве невідоме прийняти зусилля в стійці (упорному вкладиші) шпренгельного підкріплення. Величина його визначається з урахуванням роботи напруженої арматури як у пазі, так і у приопорних зонах.

Величини зусиль залежать від співвідношення жорсткості балкової В і шпренгельної частин  $E_{cp} A_{cp}$ . Після появи тріщин починає істотно зростати зусилля в шпренгельній частині.

Розрахунок запропонованих конструкцій і систем, в яких вони використовуються, будується на основі застосування методу послідовних навантажень та ітераційних процесів уточнення на кожному кроці навантаження значень напружень і відповідних їм величин січних модулів деформацій. У процесі послідовного перебору навантажень установлюється момент настання граничних станів першої і другої групи, за який приймається переважно величина переміщень, тому що наявність тріщин у бетоні при застосуванні СПА з полімерним зв'язуючим, який підібрано для заданого експлуатаційного середовища, не являється лімітуючим фактором. Оцінка напружено-деформованого стану перерізів виконується в

відповідності з підходом Бондаренко В.М. Дана оцінка складає внутрішній цикл ітерацій; встановлення характеру перерозподілу зусиль між елементами, перерізами - зовнішній цикл ітерацій.

Повільність діаграм деформування бетону і СПА забезпечує збіжність ітераційних процесів.

У розрахунках за деформаціями, а також при визначенні жорсткостей перерізів використовується підхід В.І. Мурашева.

**У розділі 10** висвітлюються особливості впровадження результатів роботи на об'єктах різноманітного функціонального призначення Грузії та України, у спеціальних спорудах, в проекті нормативного документа України "ДБН. Ремонт та підсилення несучих конструкцій промислових будівель та споруд, що експлуатуються (реконструюються)".

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено новий тип склопластбетонних попередньо напружених конструкцій зі самоанкереною арматурою, натягування якої створюється відтягуванням вниз шляхом безпосереднього прикладення до неї поперечних навантажень. Підсилення кінцевих ділянок СПА, захист і розміщення її основної частини в пазі поза тілом бетону у вогнезахисному неагресивному середовищі забезпечують достатньо високий ступінь надійності, можливість застосування не стійких у бетоні скловолокон і полімерних зв'язуючих, у тому числі холодного затвердіння. Істотно знижуються енергетичні і фінансові витрати, вперше представилося можливим попереднє напруження монолітних конструкцій, статично невизначених систем.
2. Для розроблених склопластбетонних конструкцій створені ефективні типи СПА із різноманітними анкерними закінченнями, неенергомісткі способи їх виготовлення намоткою і контактним формуванням із застосуванням полімерних зв'язуючих гарячого і холодного затвердіння.
3. Експериментально досліджені деформативно-міцнісні властивості розробленої СПА. Встановлено, що в залежності від способу виготовлення, вихідних матеріалів, що застосовуються, їх кількісного співвідношення, розмірів поперечних перерізів величини тимчасового опору стрижневої однонаправленої СПА (двохгілкової, яка одержана намоткою, і з петльовими закінченнями, виготовленої контактним формуванням), знаходяться в межах  $\sigma_{cu} = 500 \dots 900$  МПа, модуль деформацій  $E_c = (4 \dots 5) \cdot 10^4$  МПа.
4. Розроблена СПА хаотичного наповнення, що має анкерні закінчення. Встановлені у випробуваннях деформативно-міцнісні показники даної СПА на основі використання епоксидних композицій:  $\sigma_{cu} = 350$  МПа,  $E_c = 3,3 \cdot 10^4$  МПа.
5. Через порівняно високу деформативність СПА запропоноване багатоетапне натягування її розсуненням і стягуванням у пазі в горизонтальній площині і наступним відтягуванням у вертикальній площині, розроблена методика розрахункового визначення параметрів натягування СПА з урахуванням деформованої схеми.
6. Розроблена методика розрахунку запропонованих склопластбетонних попередньо напружених конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності, особливостей їх роботи, перерозподілу зусиль між склопластиковою шпренгельною і склопластбетонною балковими частинами.
7. Проведені експериментальні дослідження дозволили виявити закономірності деформування розроблених склопластбетонних конструкцій, характер вичерпання

несучої спроможності та тріщиноутворення. Експерименти підтвердили ефективність (величина навантаження тріщиноутворення збільшувалась в 2,5 і більше разів) обтиснення відтягуванням СПА; факт зростання зусилля обтиснення на 30...50% на другій його стадії (після фіксації положення напруженої СПА і зняття відтягуючого навантаження).

Зіставлення експериментально отриманих даних і результатів розрахунку за розробленою методикою показало їх прийнятну відповідність, ухилення склали до 6%.

8. Запропоновані нерозрізні статично невизначені склопластбетонні рамні та балочні конструкції з попередньо напруженою самоанкереною СПА в прольотах і на опорах, передбачені вирішення для випадків збірного і монолітного виконання.

9. Запропоновані принципи розрахунку різноманітних склопластбетонних статично невизначених систем з урахуванням перерозподілу зусиль на основі використання програмних комплексів "Міраж" та ін. у сполученні з блоком оцінки напружено-деформованого стану перерізів.

10. Розроблені електроізоляційні бетонні елементи в склопластикових обоймах, попередньо напружені технологічним натягуванням скловолокон при намотці. Експериментально встановлено, що склопластикові обойми в 2...4 рази підвищують міцність на розтягування, в 9...14 разів при осьовому стиску. В аналогічних елементах, одержаних заповненням бетоном склопластикових трубчастих зразків, тобто без обтиснення технологічним натягуванням, ефект при осьовому стиску зменшується і забезпечує зріст міцності вже в 4...7 разів, однак суттєво спрощується виготовлення елементів, відкриваються широкі можливості використання в реконструкції.

11. Досліджені бетонні елементи в склопластикових обоймах, одержаних намоткою і контактним формуванням, попереднє напруження яких здійснюється обтисненням по торцях перед полімеризацією і відпусканням після її закінчення. Обтиснення не потребує енергетичних витрат і підвищує, як показали експерименти, тріщиностійкість розтягнутих елементів в обоймах, одержаних намоткою, в 1,52 рази, згинальних - в 1,34 рази, в обоймах контактного формування відповідно в 1,4 і 1,25 рази. На відміну від залізобетонних конструкцій, попереднє напруження підвищує міцність елементів: розтягнутих в обоймах, одержаних намоткою, в 1,39 рази, згинальних - в 1,15 рази; в обоймах контактного формування відповідно в 1,2...1,6 рази і в 1,2 рази.

12. Розроблено спосіб підвищення несучої спроможності гнучких позacentровано стиснутих елементів, попередньо напружених зовнішнім склопластиковим армуванням.

13. Запропоновані електроізоляційні конструкції з комбінованим (зовнішнім і внутрішнім) армуванням і використанням суперпластифікаторів для зниження водоцементного співвідношення. Попереднє напруження, сушка і полімеризація здійснюються в єдиному процесі, що суттєво знижує енергетичні витрати.

14. Експериментально досліджені діелектричні властивості розроблених попередньо напружених конструкцій із зовнішнім армуванням, закономірності їх опору одночасним механічним і електричним навантаженням. Дані конструкції при використанні в них висушених бетонів володіють близькими до фарфору діелектричними показниками:

питомий об'ємний опір ізоляції  $\rho_o = 1012 \dots 1014 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , імпульсна електрична напруга перекриття  $U_{nep} = 120 \text{ кВ}$  (10кВ/см) і більш. Попереднє напруження підвищує величину граничного за умовами електроізоляції механічного навантаження на 20...40%, при дії електричних імпульсних напруг перекриття - на 50...65%.

15. Аналіз тривалих натурних досліджень впливу кліматичних умов на роботу згинальних елементів в склопластикових обоймах показав, що в найбільш

несприятливих випадках міцність знижується на 20...22%, деформативність зростає на 8...10%.

16. Запропоновані комбіновані конструкції зі склопластикових панелей-оболонок та склопластбетонних попередньо напружених бортових (балкових) елементів, а також у вигляді замкнених циліндричних склопластикових оболонок з боковими попередньо напруженими склопластбетонними днищами.

17. Розроблені локально попередньо напружені залізобетонні конструкції заводського виготовлення, які відрізняються зниженою енерговитратністю і високим рівнем технологічної гнучкості.

18. Розроблена енергозберігаюча система зміцнення стрижневої арматури із сталі класу А-III витяжкою без застосування висадки анкерних голівок і реалізуючі її установки.

19. Проведені експериментальні дослідження залізобетонних згинальних елементів, попередньо напружених відтягуванням арматури, що підтвердили можливість використання за даним способом обтиснення напруженої арматури класу А-III без зміцнення витяжкою. Зіставлення результатів експериментів з даними, які одержані розрахунком за розробленою методикою, показало їх прийнятну відповідність: відхилення до 7,4%.

20. Результати роботи впроваджені у новому будівництві і реконструкції об'єктів різноманітного функціонального призначення Грузії та України, у спеціальних спорудах, в проекті нормативного документа України "ДБН Ремонт та підсилення несучих конструкцій промислових будівель та споруд, що експлуатуються (реконструюються)".

Основні положення дисертації опубліковані у 49 роботах, в тому числі:

1. Салия Г. Ш., Шагин А. Л. Бетонные конструкции с неметаллическим армированием. - М: Стройиздат, 1990. - 145 с.
2. Салия Г.Ш. Предварительное напряжение бетонных элементов поперечным нагружением неметаллической арматуры // Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн.сб. - Вып.6. - К.: Техника, 1996. - С.18-21.
3. Салия Г.Ш. Предварительно напряженные конструкции с двухветвевой стеклопластиковой арматурой // Сб. докл. междунар. конф. "Ресурсосберегающие конструктивно-технологические решения зданий и сооружений". - Том II, часть 6-7. - Белгород: Изд. "Крестьянское дело". - 1997. - С. 197-202.
4. Салия Г.Ш. Предварительное напряжение элементов со стеклопластиковой арматурой, полимеризующейся в бетоне // Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн.сб. - Вып.8. - К.: Техника, 1997. - С.14-16.
5. Салия Г.Ш. Локальное предварительное напряжение конструкции в заводских условиях // Научный вестник строительства. - Харьков: ХГТУСА, 1997. - № 1. - С.73-76.
6. Салия Г.Ш. Несущие элементы с неметаллическим армированием // Труды Междунар. конф. "Научно-практические проблемы современного железобетона". - Киев: НИИСК. - 1996. - С.254-257.
7. Салия Г.Ш. Эксцентричное предварительное напряжение внецентренно сжатых элементов стеклопластиковым армированием // Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн.сб. - Вып.9. - К.: Техника, 1997. - С.8-11.
8. Салия Г.Ш. Критерии оценки надежной работы комплексных конструкций для объектов электротехнического назначения // Труды Междунар. конф. "Надежность строительных конструкций зданий и сооружений". - Черкассы: ЧИТИ. - 1993. - С.36-37.

9. Салия Г.Ш. Локально предварительно напряженные элементы с арматурой класса А-III: // 36. наук. пр. "Проблеми теорії і практики залізобетону": - Полтава: ПДТУ. - 1997. - С.410-413.
10. Салия Г. Ш.. Расчёт натяжения стеклопластиковой арматуры при предварительном обжатии изгибаемого элемента // Труды Междунар.конф. "Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве". - Харьков: Курьер ЛТД. - 1996. - С.46-49.
11. Салия Г. Ш. Предварительное напряжение внецентренно сжатых бетонных элементов в стеклопластиковых обоймах //Сб. тр. конф. "Сталежелезобетонные конструкции. Исследования, проектирование и строительство": - Кривой Рог: Кр.ТУ. - 1996. - С.38.
12. Салия Г.Ш. Экспериментальные исследования локально предварительно напряженных элементов с арматурой класса А-111 // Науковий вісник будівництва: - Харьков: ХГТУСА, 1998.- №2 . - С. 201-204.
13. Салия Г.Ш. Предварительно напряженные элементы с самоанкеренной стеклопластиковой арматурой и экспериментальная оценка их работы. //Науковий вісник будівництва: - Харьков.: ХГТУСА, 1998. - №2 . - С199-201.
14. Салия Г.Ш. Попереднє напруження статично невизначених склопластбетонних конструкцій //Вісник Сумського державного аграрного університету. -Вип. 2.- Сум: Козацький вал, 1998. - С 119-120.
15. Салия Г.Ш. Предварительное напряжение стальной и стеклопластиковой арматуры в условиях реконструкции // Тр. 5-ой конф. Межрегиональной Ассоциации "Железобетон"- Москва: НИИЖБ , 1998. - С 36-37.
16. Салия Г.Ш. Многоэтапное локальное предварительное напряжение конструкций // Тр.Междунар.конф. "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди" - Ровно: Укр.держ.акад.вод.госп.- 1996. - 72 с.
17. Салия Г.Ш. Предварительно напряженные стеклопластбетонные конструкции шпренгельного типа // Науковий вісник будівництва. - Харьков: ХГТУСА,1999. - №5. - С.61-66
18. Салия Г.Ш. Энергосберегающие конструкторско-технологические решения перекрытий увеличенных пролетов.// Науковий вісник будівництва: -Харьков.: ХГТУСА , 1999.- № 5. - С. 59-61
19. Салия Г.Ш. Конструкции покрытий на основе стеклопластбетонных и стеклопластиковых элементов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн.сб.. - Вып. 18. - К: Техника, 1999. - С. 45-49.
20. Салия Г.Ш. Оснастка линии электропередач 0,4кВ: Отчет о НИР/ Груз. политехн. ин-т ; № ГР 01-143/86; Инв. №. - Тбилиси, 1988. - 80 с.
21. Шагин А.Л., Салия Г.Ш., Домбаев И.А. Обжатие конструкций оттягиванием стальной и стеклопластиковой арматуры // Материалы междунар.конф. "Инженерные проблемы современного бетона и железобетона. Конструкции зданий и сооружений. Методы расчета"- Том 1, часть 2.- Минск: НПФ "Рансо". - - 1997.- С.241-249.
22. Шагин А. Л., Салия Г. Ш. Эффективность стеклопластиковых обоек при различных эксцентриситетах приложения нагрузки // Сб.тр. конф.. "Сталежелезобетонные конструкции. Исследования, проектирование и строительство". - Кривой Рог: Кр.ТУ . - 1996.- С.37.
23. Шагин А. Л., Салия Г. Ш., Бабаев В. Н., Горошко Л. М. Технологический комплекс по изготовлению конструкций сборно-монолитных зданий // Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн.сб. - Вып.9. - К.: Техника, 1997.- С.54-56.
24. Шагин А. Л., Салия Г. Ш. Сборно-монолитная каркасная система для строительства в сейсмоопасных регионах. // Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн.сб. - Вып.6. - К.: Техника, 1996.- С.21-25.
25. Shagin A.L., Salia G.Sh. Buildings and constructions with glassplastic spaced structures.- Proceedings International Congress ICSS-98 . - Volume II, Moscow, Russia. - 1998. - P.696-702.

26. Шагин А. Л., Избаш М.Ю., Салия Г.Ш. Специальные конструкции из стеклопластиков // Монтажные и специальные работы в строительстве. - 1998. -№7-8. - С. 38-41.
27. Шагин А. Л., Салия Г. Ш., Адилов А.Э. Особенности применения шагового метода в расчетах предварительно напряженных конструкций // Коммунальное хозяйство городов: Науч.техн.сб. - Вып.18. - К.: Техніка, 1999. - С.6-10..
28. Шагин А. Л., Салия Г. Ш., Адилов А.Э., Магомедов Ю.А. Локально предварительно напряженные перекрытия и покрытия повышенной жесткости // Науковий вісник будівництва. - Харьков: ХГТУСА, 1999. - №5. - С 56-59.

## АНОТАЦІЯ

Салія Г.Ш. "Попередньо напружені конструкції зниженої енерговитратності зі склопластиковим і сталевим армуванням". - Рукопис.

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

В дисертації запропонований і досліджений принципово новий клас склопластбетонних попередньо напружених конструкцій з застосуванням розробленої самоанкереної склопластикової арматури зниженої енерговитратності. Розроблені і досліджені попередньо напружені елементи з зовнішнім і внутрішнім склопластиковим армуванням, а також комбіновані конструкції зі склопластбетонних і склопластикових елементів. Запропоновані принципи розрахунку.

Розроблені локально попередньо напружені залізобетонні елементи зниженої енерговитратності заводського виготовлення, системи зміцнення і натягування арматури. Запропоновані вирішення впроваджені на об'єктах України і Грузії, в спеціальних спорудах, проекти нормативного документа України.

Ключові слова: склопластикове армування, склопластбетонні елементи, намотка, попереднє напруження, втрати напружень, діелектричні показники, корозійна стійкість.

## SUMMARY

Saly G.Sh. Lowered power expenditure prestressed structures with glass-reinforced plastic and steel reinforcement. - Manuscript.

Thesis on seeking for Doctor of Sciences on speciality 05.23.01 "Construction structures, buildings and structures". Kharkow State Academy of Railway Transport, Kharkow, 1999.

Basically new class of glass-reinforced plastic concrete prestressed structures with using author developed selfanchored glass-reinforced plastic reinforcement is investigated and suggested in this thesis.

Glass-reinforced plastic contact with concrete medium is excepted. Strength along inclined section and fireprotection are provided. Reinforcement stress loses and power expenditure for manufacturing are lowered. Methods of calculating one and multiply staged reinforcement tensioning parametres and stress losses are developed.

Prefressed elements with exterior and interior glass-reinforced plastic reinforcement and combined glassplastic concrete and glassplastic elements structures are suggested. Mechanism of their resistance to mechanical and electric loads, environment is studied.

Suggested decisions are installed at the using activities of Ukraine and Georgia and at special structures.

Key words: glass-reinforced plastic reinforcement, glass-reinforced plastic concrete, reeling, prestressed reinforcement, power losses, dielectric indexes, corrosion firmness.

## АННОТАЦИЯ

Салия Г.Ш. Предварительно напряженные конструкции сниженной энергозатратности с стеклопластиковым и стальным армированием. - Рукопись.

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

Диссертация посвящена созданию эффективных предварительно напряженных стеклопластбетонных и железобетонных конструкций сниженной энергозатратности, их исследованию, разработке принципов расчета и внедрению в новом строительстве и реконструкции.

Предложены новые виды самоанкеренной стеклопластиковой арматуры и способы их получения; экспериментально установлены закономерности деформирования при кратковременном и длительном действии нагрузки. Получаемая намоткой двухветвевая арматура имеет временное сопротивление  $R_{sn}=800...900$  МПа, модуль деформации  $E_s=5 \cdot 10^4$  МПа; однонаправленная с петлевыми окончаниями -  $R_{sn}=500...600$  МПа,  $E_s=4 \cdot 10^4$  МПа; хаотического наполнения с анкерными окончаниями -  $\sigma_{ci}=350$  МПа,  $E_s=3 \cdot 10^4$  МПа. Длительная прочность составляет примерно 0,7 от кратковременной. На основе использования разработанной арматуры предложен и экспериментально исследован принципиально новый класс предварительно напряженных стеклопластбетонных конструкций, в которых напрягаемая арматура не имеет контакта с щелочной средой бетона, анкеровка осуществляется за счет зацепления за бетон, натяжение - оттягиванием поперечной нагрузкой. Обеспечивается возможность предварительного напряжения монолитных, неразрезных систем; повышения прочности по наклонным сечениям; применения различных связующих холодного отверждения; снижения энергозатратности и стоимости.

Разработаны предварительно напряженные бетонные конструкции с внешним стеклопластиковым армированием, электроизоляционные несущие элементы сниженной энергозатратности. Исследованы закономерности их деформирования и сопротивления одновременным механическим и электрическим воздействиям. В случае обжатия, создаваемого технологическим натяжением волокон, стеклопластиковые обоймы увеличивают прочность при осевом сжатии в 9...14 раз, при осевом растяжении в 1,8...2,8 раза в зависимости от толщины обоймы (1...3 мм) по сравнению с аналогичными бетонными элементами без обойм. В проведенных экспериментальных исследованиях выявлено, что в элементах, получаемых заполнением стеклопластиковых трубчатых образцов бетоном, указанный эффект роста прочности уменьшается и составляет 4-7 раз.

Разработаны и исследованы элементы в обоймах и с комбинированным армированием, предварительно напряженные механическим способом. Обжатие повысило трещиностойкость при растяжении в 1,52 раза, при изгибе в 1,34 раза по сравнению с аналогичными элементами без обжатия. Аналогично возрастают величины удельных импульсных электрических напряжений перекрытия и сопротивления изоляции.



Экспериментально установлено, что в отличие от железобетонных конструкций, предварительное напряжение стеклопластбетонных элементов повышает их прочность в 1,15...1,4 раза.

Разработан способ повышения несущей способности гибких сжатых элементов предварительно напряженным внешним стеклопластиковым армированием.

Предложены комбинированные конструкции из разработанных предварительно напряженных стеклопластбетонных элементов с внешним и внутренним стеклопластиковым армированием и стеклопластиковых оболочек и складок, получаемых способом намотки; даны решения узлов их сопряжения.

Разработаны методики определения параметров одно- и многоэтапного натяжения арматуры, потерь напряжений. Предложены принципы расчета разработанных конструкций и систем на их основе по предельным состояниям с учетом физической нелинейности. При этом используется шаговый метод в сочетании с внешним и внутренним циклами итераций на каждом шаге нагружения либо догружения.

Разработаны локально предварительно напряженные железобетонные конструкции сниженной энергозатратности заводского изготовления и не ориентированные на использование традиционно применяемых энергоемких высаженных головок системы деформационного упрочнения и натяжения стальной арматуры; экспериментально обоснована возможность применения в них без деформационного упрочнения арматуры класса А-III, выпускаемой металлургическими предприятиями Украины и Грузии. Результаты работы внедрены в новом строительстве и реконструкции на объектах Украины и Грузии, в специальных сооружениях, в проекте нормативного документа Украины.

Ключевые слова: стеклопластиковое армирование, стеклопластбетонные элементы, намотка, предварительное напряжение, потери напряжений диэлектрические показатели, коррозионная стойкость

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Попередньо напружені конструкції зниженої енерговитратності  
зі склопластиковим і стальним армуванням

Салія Гурам Шалвович

Відповідальний за випуск Романенко В.В.

Підписано до друку 06.04. 1999 р.  
Формат паперу 60 x 84 1/16. Папір для розмножувальних апаратів.  
Друк офсетний. Умовн.-друк. арк. 2. Обл.-вид. арк. 2,25.  
Замовлення № 197. Тираж 100 прим. Безплатно.

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

