

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

АГАЄВА ОЛЬГА АЙЯРІВНА

УДК 624.012.36:624.012.46

**РОЗРАХУНКОВА НАДІЙНІСТЬ
ПРОГІННИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Карпюк Василь Михайлович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, професор кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Семко Олександр Володимирович,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри архітектури та міського будівництва;

кандидат технічних наук, професор
Коваль Петро Миколайович,
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури Міністерства культури України, завідувач кафедри архітектурних конструкцій.

Захист відбудеться «07» травня 2019 р. о 13⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

Автореферат розісланий «04» квітня 2019 р.

В.о. вченого секретаря спеціалізованої
вченої ради Д 41.085.01, д.т.н., професор

В.Г. Суханов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Швидкий розвиток будівельного виробництва вимагає постійного вдосконалення методів розрахунку і проектування залізобетонних конструкцій, спрямованого на забезпечення їх надійності в експлуатації при одночасному зниженні матеріалоемності та інших витрат. Особливої уваги, з цієї точки зору, заслуговують прогінні залізобетонні конструкції з попередньо напруженою арматурою, які, незважаючи на розповсюдженість монолітного будівництва, і досі широко застосовуються на практиці (наприклад, у мостобудуванні).

Метод граничних станів, закладений у чинних нормативних документах, дозволяє забезпечувати необхідну несучу здатність зазначених конструкцій за рахунок використання різноманітних коефіцієнтів надійності та відповідальності споруди. Проте, достатня несуча здатність елемента не гарантує його достатню надійність, кількісна оцінка якої на стадії розробки проекту залишається невідомою. Більше того, зі зміною вихідних конструктивних чинників, прийнятих при розрахунку (класів бетону, арматури та коефіцієнту армування) напрямки зміни цих двох характеристик взагалі можуть виявитися різними, оскільки величина надійності має випадкову природу.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми є регулювання у процесі проектування розрахункової надійності прогінних попередньо напружених елементів при одночасному забезпеченні достатньої їх несучої здатності. Такий підхід є доцільним для усунення у конструкціях зайвого запасу забезпеченості, який виникає через відсутність диференційованого урахування розкиду (мінливості) параметрів їх напружено-деформованого стану. Результатом регулювання надійності буде економія матеріалів або, у випадку необхідності, збільшення забезпеченості роботи конструкції за розглянутим граничним станом, що підкреслює актуальність обраної теми досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася у рамках держбюджетних тем «Розробка розрахункових моделей прогінних залізобетонних конструкцій при складному напружено-деформованому стані приопорних ділянок» (номер державної реєстрації – 0108U000559), «Розв'язок прикладних інженерних задач за допомогою методів теорії споруд» (номер державної реєстрації – 0107U000809), «Розрахункові моделі силового опору складнонапружених прогінних залізобетонних конструкцій з урахуванням дії малоциклового навантаження високих рівнів» (номер державної реєстрації – 0116U002340) на кафедрах залізобетонних конструкцій та транспортних споруд і опору матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Мета роботи – розробка математичних моделей з регулювання розрахункової надійності прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій у рекомендованих межах із забезпеченням їх несучої здатності за першою групою граничних станів, мінімальними витратами матеріалів та урахуванням мінливості фізико-механічних властивостей бетону і арматури.

Завдання досліджень:

- доповнити отримані у попередніх дослідженнях оцінки характеристик розкиду втрат попереднього напруження та діючих зусиль у напруженій арматурі для окремих її класів та способів натягу на різних стадіях роботи конструкції;
- доопрацювати існуючі способи визначення та оцінки розкиду параметрів напружено-деформованого стану прогінних попередньо-напружених залізобетонних конструкцій з використанням сучасного програмного комплексу;
- дослідити вплив різних конструктивних чинників на мінливість несучої здатності нормальних і похилих перерізів, а також на показники розрахункової надійності зазначених конструкцій;
- використовуючи теорію планування експерименту розробити придатні для практичного застосування математичні моделі з регулювання розрахункової надійності прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій за першою групою граничних станів;
- скласти алгоритм регулювання розрахункової надійності прогінних залізобетонних конструкцій з попередньо напруженою арматурою;
- впровадити результати досліджень у практику проектування зазначених конструкцій та навчальний процес вищих навчальних закладів будівельного профілю.

Об'єкт досліджень – мінливість параметрів напружено-деформованого стану балкових залізобетонних конструкцій з попередньо напруженою робочою арматурою.

Предмет дослідження – розрахункова надійність визначення несучої здатності прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

Методи дослідження: збір, вивчення та аналіз літературних джерел, формулювання завдань досліджень, складання робочої програми виконання поставлених завдань, аналіз отриманих результатів, формулювання висновків і рекомендацій, визначення розрахункової надійності натурних конструкцій за запропонованими рекомендаціями. Методи теорії надійності, апробовані імовірісно-статистичні методи аналізу випадкових величин і процесів, математична теорія планування експерименту, загальні методи теоретичних досліджень: абстрагування, аналіз, синтез, індукція, дедукція.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше здійснена комплексна оцінка ступеня впливу таких конструктивних чинників, як клас бетону, клас арматури та її кількість на коефіцієнти варіації несучої здатності нормальних і похилих перерізів, а також на характеристики надійності попередньо напружених балкових залізобетонних конструкцій, визначені за рекомендаціями чинних нормативних документів та сучасних авторських методик;
- вперше здійснено моделювання розрахункової надійності та несучої здатності нормальних і похилих перерізів прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій та отримано 12 адекватних математичних моделей, які дозволяють не тільки якісно, а й кількісно оцінити вплив кожного конструктивного чинника як зокрема, так і у взаємодії один з одним на вказані параметри. В

подальшому ці моделі можуть бути використані для здійснення компромісної оптимізації зазначених конструкцій;

- запропонований алгоритм регулювання надійності прогінних елементів з напруженою арматурою, які розраховуються за комплексом граничних станів;

- розширено диференційовані оцінки мінливості втрат попереднього напруження та діючих зусиль в арматурі для всіх її класів, що використовуються у попередньо напружених залізобетонних конструкціях, і для всіх існуючих способів натягу;

- адаптовано, реалізований у програмному комплексі MATLAB, спосіб визначення розкиду основних параметрів несучої здатності нормальних і похилих перерізів прогінних попередньо напружених конструкцій, який виникає внаслідок мінливості властивостей бетону та арматури.

Практичне значення отриманих результатів роботи:

- поповнено банк статистичних даних про мінливість параметрів напружено-деформованого стану прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій, які використовують при застосуванні імовірнісних методів до розрахунку будівель і споруд;

- розроблені розрахункові моделі дозволяють кількісно оцінювати надійність запроєктованих конструкцій, ураховуючи вплив на її величину найбільш важливих конструктивних чинників як зокрема, так і при їхній взаємодії, а також порівнювати напрямки зміни несучої здатності та показників надійності елементів зі зміною цих чинників;

- запропонований інженерний спосіб регулювання розрахункової надійності прогінних попередньо напружених конструкцій дає змогу як знизити матеріалоемність та енергомісткість їх виготовлення ще на стадії проектування, так і, у ряді випадків, підвищити надійність конструкцій;

- результати досліджень впроваджені у навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці магістрів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Промислове та цивільне будівництво», а також у проектній практиці провідних будівельних організацій м. Одеси, зокрема ТДВ «Чорноморгідробуд».

Особистий внесок здобувача полягає у:

- плануванні та проведенні теоретичних досліджень розрахункової надійності прогінних залізобетонних конструкцій з попередньо напруженою стержневою і дротяною арматурою;

- отриманні диференційованих оцінок характеристик розкиду втрат попереднього напруження та фактичних зусиль в арматурі попередньо напружених конструкцій для всіх її класів та способів натягу;

- аналізі одержаних результатів числових експериментів з визначення коефіцієнтів варіації та характеристик надійності несучої здатності нормальних і похилих перерізів зазначених конструкцій;

- внесенні пропозицій щодо регулювання проектної надійності попередньо напружених балкових конструкцій на основі проведених досліджень.

Всі основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації у дисертаційній роботі розроблені здобувачем самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на таких конференціях: IV міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства» (Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 25 листопада-25 грудня 2014 р.), 4-му міжнародному академічному конгресі «Наука та освіта у сучасному світі» (Нова Зеландія, Окленд, 5-7 січня 2015 р.), міжнародній конференції «Структурообразование, прочность и разрушение композиционных строительных материалов и конструкций», присвяченій 85-річчю Одеської державної академії будівництва та архітектури (Одеса, ОДАБА, 16-17 квітня 2015 р.), 72-й науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу академії (Одеса, ОДАБА, 19-20 травня 2016 р.), науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси» (Одеса, ОДАБА, 22-24 вересня 2016 р.), 73-й науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу академії (Одеса, ОДАБА, 16-17 травня 2017 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (Полтава, ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 18-20 жовтня 2017 р.), II міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (Одеса, ОДАБА, 16-17 листопада 2017 р.), 74-й науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу академії (Одеса, ОДАБА, 17-18 травня 2018 р.), другій науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси» (Одеса, ОДАБА, 27-29 вересня 2018 р.).

Публікації. Основні наукові результати за темою дисертаційної роботи опубліковані в 12 наукових працях, у тому числі в 5 наукових публікаціях у спеціалізованих фахових виданнях України, 1 – у періодичному закордонному виданні.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Робота викладена на 196 сторінках, які включають 118 сторінок основного тексту, 53 таблиці та 35 ілюстрацій, 2 додатки на 6 сторінках та список використаних джерел із 335 найменувань, викладений на 36 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведене обґрунтування вибору теми дослідження, сформульовані мета і завдання досліджень, наукова новизна та практичне значення роботи, представлена її загальна характеристика і зв'язок з науковими планами та програмами.

У **першому розділі** представлений критичний аналіз існуючих досягнень у галузі імовірнісних розрахунків будівель і споруд.

Становлення та розвиток основ, а також сучасне загальноприйняте трактування понять надійності у сфері будівництва пов'язані, перш за все, з роботами М.С. Стрілецького, О.Р. Ржаніцина і В.В. Болотіна. Окремі аспекти вказаної проблеми у різні часи розглядали такі вчені, як А.М. Бамбура, О.П. Воскобійник, Є.В. Горохов, В.А. Громацький, Р.І. Кінаш, Є.В. Клименко, М.Б. Краковський,

А.П. Кудзіс, О.В. Лужин, В.А. Пашинський, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пічугін, В.Д. Райзер, М.В. Савицький, О.В. Семко, М.М. Складнев, В.С. Уткін та ін.

Дослідження мінливості основних факторів, що впливають на надійність залізобетонних елементів, у тому числі статистичний аналіз фізико-механічних характеристик бетону й арматури здійснювалися А.Я. Барашиковим, О.Я. Бергом, М.М. Заставою, Ю.В. Краснощоким, О.С. Личовим та ін.

Особливості застосування імовірнісного підходу при проектуванні прогінних конструкцій вивчалися у працях О.І. Васильєва, Л.І. Іосилевського, М.І. Казакевича, А.І. Лантух-Лященко, І.Г. Овчинникова, С.Б. Усаковського, В.П. Чиркова та ін.

Серед закордонних вчених в області надійності суттєва роль належить А.Н-С. Ang, С.А. Cornell, А. Der Kiureghian, О. Ditlevsen, В.Р. Ellingwood, І. Enevoldsen, М.Н. Faber, J. Ferry Borges, D.М. Frangopol, А.М. Hasofer, М. Holický, N.С. Lind, Н.О. Madsen, R.Е. Melchers, А.С. Nowak, R. Rackwitz, J.Д. Sørensen, M.Г. Stewart, W.Н. Tang, P. Thoft-Christensen, M. Tichý, D. Veneziano, M. Vorlíček, А.С. W.М. Vrouwenvelder та ін.

Результати вивчення напружено-деформованого стану звичайних і попередньо напружених залізобетонних конструкцій, в цілому, відображені у роботах Т.Н. Азізова, С.В. Александровського, Є.М. Бабича, В.М. Байкова, В.М. Бондаренка, О.В. Войцехівського, Б.Г. Гнідця, О.Б. Голишева, О.І. Давиденка, Б.Г. Демчини, В.С. Дорофєєва, О.С. Залєсова, О.І. Звєздова, М.І. Карпенка, В.М. Карпюка, В.Г. Кваші, Ю.А. Климова, П.М. Ковалья, А.В. Коврова, В.І. Корсуна, Й.Й. Лучка, І.Я. Лучковського, В.П. Митрофанова, В.В. Михайлова, В.І. Мурашева, Т.А. Мухамедієва, В.Г. Назаренка, Ю.І. Немчинова, А.М. Павлікова, В.М. Ромашка, Л.І. Стороженка, С.Л. Фоміна, Є.А. Чистякова, В.С. Шмуклера, Є.А. Яценка, О.В. Яшина та ін.

Проте, було встановлено, що дослідження проблеми забезпечення надійності будівельних об'єктів розрізнені з точки зору постановки завдань і методів їх вирішення, а наявні у літературі імовірнісні розрахунки стосуються тільки окремих типів конструкцій та наведені, здебільшого, у вигляді рекомендацій. Зокрема, це питання є недостатньо вивченим для попередньо напружених залізобетонних елементів, в яких використовуються більш міцні робоча арматура і бетон. Окрім того, ще майже не вивчався вплив різних вихідних конструктивних чинників на розрахункові параметри надійності таких елементів.

Особливу увагу також приділено розгляду існуючих методів визначення показників надійності будівельних конструкцій.

Огляд літературних джерел показав, що найбільш прийнятним показником для задачі регулювання надійності прогінних залізобетонних конструкцій слід вважати характеристику надійності β . За рекомендаціями проф. Застави М.М. її величина у загальному вигляді для безрозмірних значень несучої здатності R та діючого зусилля F розраховується за формулою:

$$\beta = \frac{1 - \eta_{ld}}{\sqrt{C_v^2(R) + \eta_{ld}^2 C_v^2(F)}}, \quad (1)$$

де $\eta_{ld} = \bar{F}/\bar{R}$ – відносне навантаження; для граничних станів першої групи може прийматися рівним 0,5 (оскільки експлуатаційне зусилля в елементі становить, приблизно, 0,5 від руйнівного);

$C_v(R)$, $C_v(F)$ – коефіцієнти варіації R і F ; величина $C_v(F)$ визначається наближено як 0,1.

Як видно із формули (1), визначення надійності будівельних конструкцій пов'язане з обчисленням коефіцієнта варіації параметрів їх напружено-деформованого стану, чому і присвячена значна частина дисертаційної роботи. Для отримання необхідних коефіцієнтів варіації використовувався метод статистичних випробувань (Монте-Карло) або метод лінеаризації розрахункових формул розкладанням у ряд Тейлора, які були реалізовані в програмному комплексі MATLAB.

У якості нормативного показника надійності згідно з чинним ДБН В.1.2-14:2018 прийняте значення $[\beta] = 4,75$ і $[\beta] = 3,89$ при розрахунку конструкцій, відповідно, за першою та другою групою граничних станів, вважаючи, що вони відносяться до класу наслідків СС2 і категорії відповідальності А.

Другий розділ присвячено аналізу наявних та отриманню нових оцінок розкиду втрат попереднього напруження та діючих зусиль в арматурі для всіх її класів, що застосовуються у попередньо напружених конструкціях, з урахуванням передбачених нормами способів натягу. Вони слугували вихідною базою подальших досліджень.

При обчисленні вказаних характеристик використовували існуючі способи розрахунку втрат і наведені у літературі коефіцієнти варіації фізико-механічних властивостей бетону та арматури.

Числовий експеримент показав, що на різних стадіях роботи конструкції мінливість втрат попереднього напруження коливається в межах від 0,06 до 0,15 і на неї впливає велика кількість супутніх чинників. Найбільш значимі з них – це, безпосередньо, сам вид втрат, клас арматури, діаметр дротяної арматури, вид і спосіб її натягу. Відповідні залежності величини мінливості миттєвих втрат попереднього напруження $C_v(\Delta P_{11})$ та втрат попереднього напруження, що залежать від часу $C_v(\Delta P_{12})$ для стержневої арматури зображені на рис. 1, 2, а для дротяної – на рис. 3, 4.

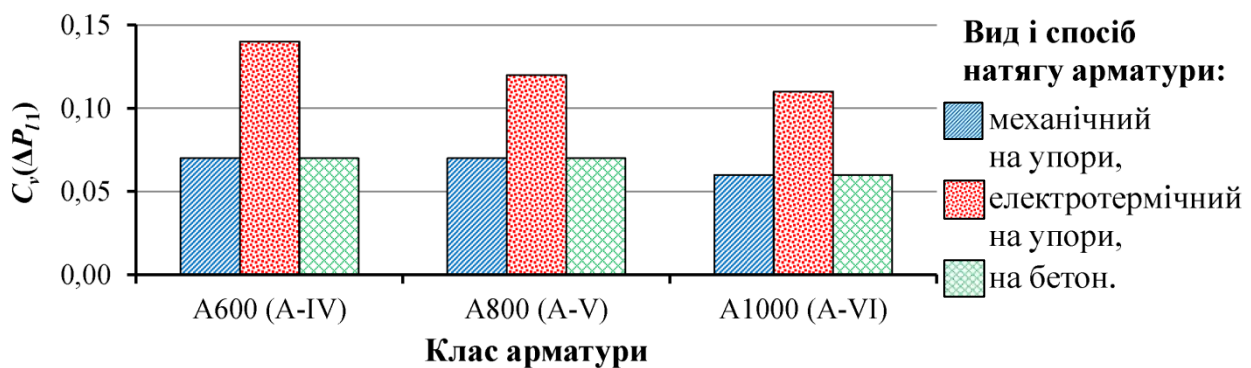


Рис. 1 Залежність величини мінливості миттєвих втрат попереднього напруження $C_v(\Delta P_{11})$ від класу, виду і способу натягу стержневої арматури

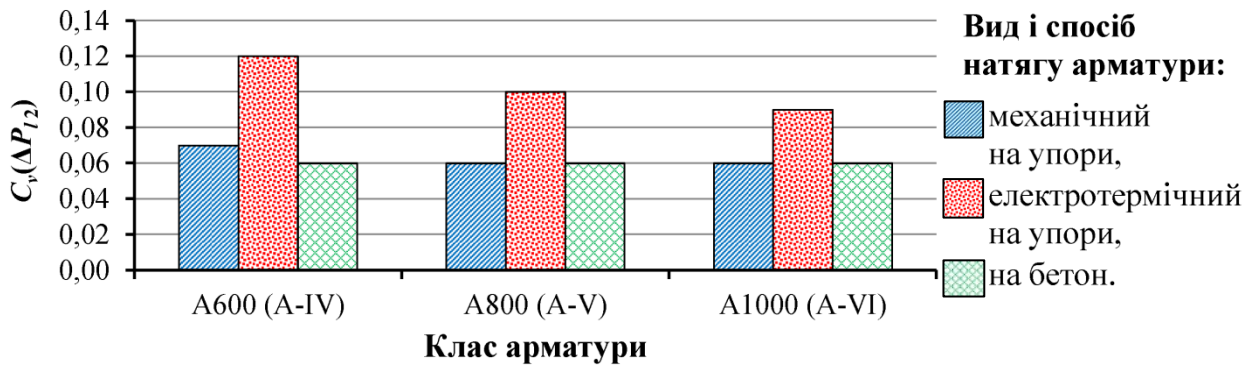


Рис. 2 Вплив класу, виду та способу натягу стержневої арматури на величину мінливості втрат попереднього напруження, що залежать від часу, $C_v(\Delta P_{12})$

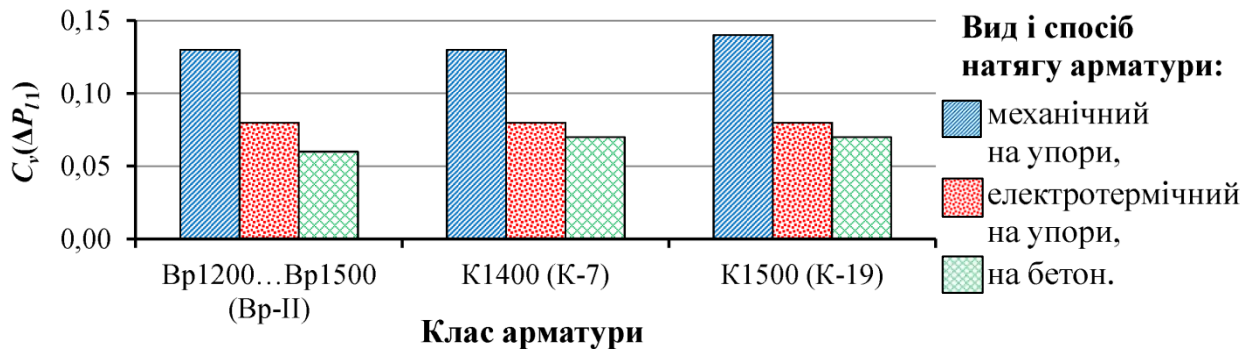


Рис. 3 Залежність величини мінливості миттєвих втрат попереднього напруження $C_v(\Delta P_{11})$ від класу, виду і способу натягу дротяної арматури

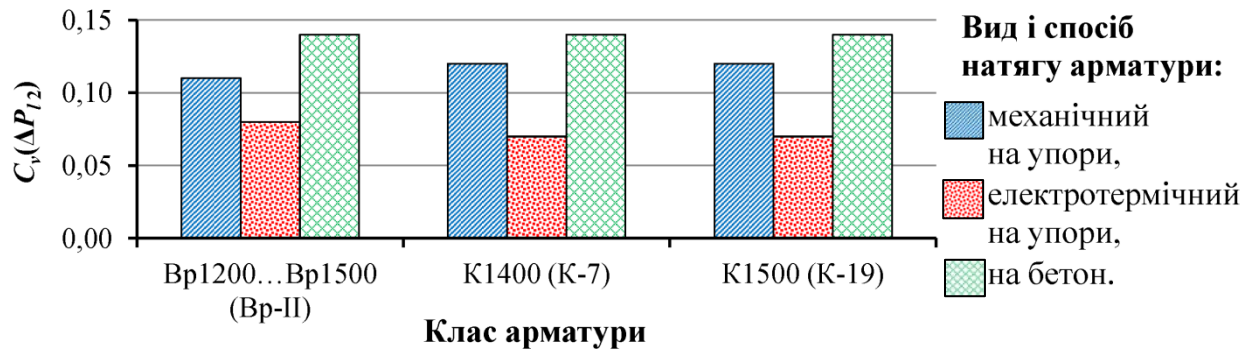


Рис. 4 Вплив класу, виду та способу натягу дротяної арматури на величину мінливості втрат попереднього напруження $C_v(\Delta P_{12})$, які залежать від терміну експлуатації

Мінливість діючих зусиль у попередньо напруженій арматурі розраховували на основі одержаних оцінок втрат, тому, відповідно, їх числові значення на різних стадіях роботи конструкції теж залежать від класу, виду та способу натягу арматури, а також діаметра дротяної арматури і змінюються у межах від 0,11 до 0,28.

Зважаючи на те, що площа перерізу арматури є детермінованою величиною, отримані коефіцієнти варіації зусиль можуть також бути використані в якості характеристик розкиду напружень у попередньо напруженій арматурі.

У третьому розділі виконаний розрахунок коефіцієнтів варіації і показників надійності несучої здатності нормальних перерізів прогінних попередньо напружених конструкцій для різних поєднань класу бетону (С32/40, С40/50, С50/60), класу робочої арматури (стержневої – А600 (А-IV), А800 (А-V), А1000 (А-VI); дротяної – Вр1300 (Вр-II), Вр1500 (Вр-II), К1400 (К-7), К1500 (К-19)) та її кількості ($\rho_{l,p}$ – 1%, 1,5%, 2%).

Дослідні елементи представляли собою згинальні попередньо напружені залізобетонні балки прямокутного перерізу (для зручності розрахунків) довжиною 6 м. Розмір їх поперечного перерізу приймали постійним – $h_n \times b_n = 40 \times 20$ см, оскільки результати раніше проведених досліджень показали, що вплив масштабного фактору на величину надійності за даним граничним станом, практично, відсутній. Для чистоти експерименту у стиснутій від зовнішнього навантаження зоні перерізу арматуру не ставили. Оскільки попереднє напруження не впливає на міцність нормальних перерізів залізобетонних конструкцій, то спосіб натягу арматури значення не має.

У зв'язку з тим, що ітераційна процедура розрахунку несучої здатності нормальних перерізів M_u за чинними нормативними документами є доволі складною, то для її обчислення використали апробовану сучасну деформаційно-силову модель опору залізобетону, розроблену проф. Ромашком В.М. При цьому, в якості випадкових величин у розрахункових формулах приймали характеристичну (призмову) міцність бетону $f_{ck, prism}$, початковий модуль пружності бетону E_{c0} та характеристичну умовну границю текучості напруженої арматури $f_{p0,1k}$.

Коефіцієнти варіації граничного згинального моменту $C_v(M_u)$, який сприймається нормальним перерізом залізобетонного елемента в залежності від різних поєднань прийнятих конструктивних чинників для окремих класів стержневої та дротяної арматури коливаються у межах від 0,03 до 0,09.

Розраховані на основі отриманих оцінок мінливості $C_v(M_u)$ величини характеристик надійності β наведені у табл. 1, 2.

Таблиця 1

Характеристики надійності β визначення несучої здатності нормальних перерізів прогінних попередньо напружених конструкцій з урахуванням класу бетону, класу та кількості стержневої арматури

Клас арматури	Коефіцієнт армування стержневою арматурою, $\rho_{l,p}$, %	Характеристика надійності β для бетону класу		
		С32/40	С40/50	С50/60
1	2	3	4	5
А600 (А-IV)	1	5,21	5,13	5,08
	1,5	5,45	5,34	5,25
	2	5,71	5,56	5,44

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
A800 (A-V)	1	5,13	5,02	4,94
	1,5	5,48	5,31	5,19
	2	5,83	5,65	5,47
A1000 (A-VI)	1	8,55	8,71	8,74
	1,5	8,12	8,64	8,79
	2	7,30	8,38	8,76

Таблиця 2

Характеристики надійності β визначення несучої здатності нормальних перерізів прогінних попередньо напружених конструкцій у залежності від класу бетону, класу та кількості дротяної арматури

Клас арматури	Коефіцієнт армування дротяною арматурою, $\rho_{t,p}, \%$	Характеристика надійності β для бетону класу		
		C32/40	C40/50	C50/60
Bp1300 (Bp-II)	1	6,48	6,41	6,30
	1,5	6,58	6,83	6,73
	2	5,79	7,01	7,17
Bp1500 (Bp-II)	1	6,57	6,54	6,43
	1,5	6,35	6,97	6,94
	2	4,84	6,82	7,37
K1400 (K-7)	1	7,75	7,99	8,02
	1,5	6,95	7,92	8,18
	2	5,39	7,33	8,15
K1500 (K-19)	1	7,69	8,00	8,05
	1,5	6,67	7,84	8,20
	2	4,88	7,05	8,07

За даними цих таблиць видно, що практично при всіх комбінаціях вихідних чинників значення β виявляється більшим від нормативного $[\beta] = 4,75$, а для деяких комбінацій перевищує його майже в 2 рази, що є нераціональним і призводить до збільшення матеріальних витрат. Тому, проаналізувавши наведені дані, був зроблений практичний висновок, що з економічної точки зору у прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкціях бажано використовувати стержневу арматуру не вище класу A800 (A-V) і у більшості випадків утримуватися від застосування дротяної арматури.

Регулювати надійність конструкцій на стадії проектування зручно за допомогою її відносних величин $\beta(x_i)/\beta(x_{i_0})$, коли для якогось поєднання вихідних даних приймається $\beta = 1$. Ці величини вказують на ступінь зростання або спадання характеристики надійності β при переході до різних класів арматури,

коефіцієнтів армування, а також класів бетону. При цьому, у якості $\beta(x_{i0})$ приймали показники надійності β при мінімальних значеннях вихідних конструктивних чинників (С32/40, А600/Вр1300, $\rho_{l,p} = 1\%$).

Встановлено, що для регулювання розрахункової надійності попередньо напружених залізобетонних балок із стержневою арматурою слід змінювати, переважно, тільки її клас. При використанні ж у балках дротяної арматури необхідно рівною мірою змінювати як класи бетону та арматури, так і її кількість.

Під час вирішення оптимізаційних задач важливо також досліджувати спільну спрямованість зміни несучої здатності та надійності конструкції зі зростанням або спаданням того чи іншого чинника.

У **четвертому розділі** проведені дослідження впливу зазначених факторів на коефіцієнти варіації та показники надійності несучої здатності похилих перерізів вказаних конструкцій. Для чистоти експерименту поперечне армування вважали відсутнім. Спосіб натягу арматури приймали механічний на упори, з огляду на його поширеність у виробництві.

Під час використання методу статистичних випробувань детермінованими величинами вважали площу перерізу попередньо напруженої арматури A_p , площу поперечного перерізу бетону A_c , момент інерції приведенного перерізу I_{red} , відстань від центру ваги бетонного перерізу до центру ваги напруженої арматури z_{cp} і статичний момент верхньої частини приведенного перерізу відносно центральної осі $S_{red}^{1/2}$. У свою чергу, зусилля в арматурі з урахуванням миттєвих втрат $P_{m0}(x)$, зусилля в арматурі з урахуванням втрат, що залежать від часу $P_{m,t}(x)$ та розрахунковий згинальний момент від зовнішнього навантаження M розглядали як випадкові величини.

Розрахунок несучої здатності похилих перерізів виконувався за методикою Єврокоду 2 для залізобетонних конструкцій у редакції ДСТУ Б В.2.6-156:2010 ($V_{Rd,c}$), а також за авторською методикою (V), оскільки вони розглядають різні схеми руйнування приопорних ділянок дослідних елементів. В цілому, коефіцієнти варіації поперечної сили, обчисленої за цими двома методиками змінюються у межах від 0,03 до 0,28. Зокрема встановлено, що:

1. На характеристику надійності міцності похилих перерізів прогінних попередньо напружених конструкцій, запроектованих за рекомендаціями чинних нормативних документів (табл. 3, 4), найбільший вплив мають клас бетону та кількість арматури. Отже, саме за допомогою цих чинників необхідно здійснювати регулювання розрахункової надійності розглянутого типу конструкцій. При цьому, слід урахувати, що характеристика надійності зменшується зі збільшенням коефіцієнту армування i , навпаки, зростає з підвищенням міцності бетону. Клас арматури у даному випадку має дещо менший вплив, тому його зміна дозволяє керувати надійністю елементів у незначних межах.

З позиції забезпечення достатньої надійності конструкцій зі стержневою арматурою доцільно використовувати її у відносно невеликій кількості ($\rho_{l,p} = 1\%$). Такий самий коефіцієнт армування є рекомендованим і для дротяної арматури, але у поєднанні з бетоном класу не нижче С40/50.

Таблиця 3

Характеристики надійності β визначення несучої здатності похилих перерізів прогінних попередньо напружених конструкцій з урахуванням класу бетону, класу та кількості стержневої арматури за нормативною методикою

Клас арматури	Кількість стержневої арматури, $\rho_{l,p}$, %	Характеристика надійності β для бетону класу		
		C32/40	C40/50	C50/60
A600 (A-IV)	1	4,75	5,14	5,62
	1,5	3,92	4,28	4,71
	2	3,41	3,76	4,17
A800 (A-V)	1	4,80	5,14	5,54
	1,5	4,07	4,38	4,74
	2	3,62	3,93	4,27
A1000 (A-VI)	1	4,81	5,11	5,46
	1,5	4,16	4,44	4,75
	2	3,77	4,06	4,35

Таблиця 4

Характеристики надійності β визначення несучої здатності похилих перерізів прогінних попередньо напружених конструкцій у залежності від класу бетону, класу та кількості дротяної арматури за нормативною методикою

Клас арматури	Кількість дротяної арматури, $\rho_{l,p}$, %	Характеристика надійності β для бетону класу		
		C32/40	C40/50	C50/60
Bp1300 (Bp-II)	1	4,71	4,95	5,22
	1,5	4,21	4,44	4,69
	2	3,88	4,11	4,34
Bp1500 (Bp-II)	1	4,55	4,77	5,02
	1,5	4,09	4,30	4,51
	2	3,77	3,99	4,20
K1400 (K-7)	1	4,65	4,87	5,12
	1,5	4,18	4,38	4,61
	2	3,87	4,08	4,28
K1500 (K-19)	1	4,87	5,08	5,33
	1,5	4,29	4,50	4,71
	2	4,01	4,23	4,43

2. При розрахунку надійності несучої здатності похилої стислої смуги за авторською методикою регулювання її величини слід здійснювати шляхом зміни класу і кількості арматури при використанні стержнів та варіювання тільки коефіцієнта армування при застосуванні дроту або канатів. При цьому, потрібно

мати на увазі, що чим більшим приймається значення кожного із зазначених конструктивних чинників, тим менша, у підсумку, надійність розрахунку несучої здатності такої конструкції.

Результати проведеного числового експерименту також показали, що для забезпечення достатньої надійності найбільш раціональним є використання високоміцної арматури (A800 (A-V), A1000 (A-VI)) у дещо більшій кількості ($\rho_{l,p} = 2\%$, $\rho_{l,p} = 1,5\%$, відповідно). Для дротяної ж арматури надійність розрахунку несучої здатності елемента за похилою стислою смугою забезпечується лише у випадку застосування найнижчого її класу (Bp1300 (Bp-II)) з найменшим коефіцієнтом армування ($\rho_{l,p} = 1\%$).

У ході досліджень була також виявлена необхідність корегування авторської методики розрахунку при використанні високоміцних бетону і арматури.

П'ятий розділ присвячений моделюванню розрахункової надійності та несучої здатності нормальних і похилих перерізів прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

Були реалізовані 6 серій числових експериментів, виконаних за трирівневим D-оптимальним планом Бокса-Бенкіна ВЗ. У якості дослідних конструктивних чинників обрані: коефіцієнт поздовжнього армування $\rho_{l,p}$ (фактор x_1), клас бетону C (фактор x_2), клас стержневої арматури (фактор x_3 , серії А, В, Д) і клас арматури із дроту та канатів (фактор x_3^* , серії Б*, Г* і Є*).

В процесі обробки отриманих у числових експериментах даних, вилучення незначимих та перерахунку тих коефіцієнтів, що залишилися, за допомогою комп'ютерної програми COMPEX, розробленої під керівництвом проф. Вознесенського В.А., отримали 12 адекватних математичних моделей розрахункових характеристик надійності β та несучої здатності M_u нормальних (серія А), похилих перерізів вказаних конструкцій зі стержневою арматурою, визначеною за методикою чинних норм $V_{Rd,c}$ (серія В), а також похилих перерізів з мінімальними прольотами зрізу, які руйнуються за похилою стислою смугою V , розрахованою за авторською методикою (серія Д), а також елементів з дротяною арматурою (серії, відповідно, Б*, Г*, Є*):

$$\hat{Y}(\beta_A) = 5,41 + 0,10x_2 + 1,52x_3 + 1,58x_3^2 + 0,26x_2x_3, \quad (2)$$

коефіцієнт варіації $C_v = 6,1\%$;

$$\hat{Y}(M_{u,A}) = 244,86 + 62,47x_1 + 11,12x_2 + 46,37x_3 - 5,88x_1^2 + 6,89x_1x_2 + 7,53x_1x_3, \text{ кНм}, \quad (3)$$

$C_v = 2,5\%$;

$$\hat{Y}(\beta_B) = 4,38 - 0,62x_1 + 0,35x_2, \quad (4)$$

$C_v = 3,7\%$;

$$\hat{Y}(V_{Rd,c,B}) = 82,06 + 6,19x_1 + 11,88x_2 + 9,51x_3 + 2,23x_1x_3, \text{ кН}, \quad (5)$$

$C_v = 1,4\%$;

$$\hat{Y}(\beta_D) = 6,07 - 1,06x_1 - 0,10x_2 - 1,00x_3 + 0,22x_1^2, \quad (6)$$

$$C_v = 2,5\%;$$

$$\hat{Y}(V_D) = 199,86 + 38,42x_2 - 14,45x_3, \text{ кН}, \quad (7)$$

$$C_v = 3,3\%;$$

$$\hat{Y}(\beta_{B^*}) = 7,88 - 0,13x_1 + 0,48x_2 - 0,04x_3 - 0,22x_1^2 -$$

$$- 0,31x_2^2 - 0,98x_3^2, \quad (8)$$

$$C_v = 5,8\%;$$

$$\hat{Y}(M_{u, B^*}) = 364,79 + 67,12x_1 + 32,31x_2 + 12,42x_3 - 17,24x_1^2 -$$

$$- 6,13x_2^2 - 2,33x_3^2 + 19,78x_1x_2, \text{ кНм}, \quad (9)$$

$$C_v = 1,4\%;$$

$$\hat{Y}(\beta_{\Gamma^*}) = 4,39 - 0,41x_1 + 0,23x_2 - 0,07x_3, \quad (10)$$

$$C_v = 1,6\%;$$

$$\hat{Y}(V_{Rd, c, \Gamma^*}) = 109,67 + 12,04x_1 + 14,02x_2 + 3,79x_3, \text{ кН}, \quad (11)$$

$$C_v = 1,7\%;$$

$$\hat{Y}(\beta_{C^*}) = 2,98 - 1,16x_1 - 0,12x_2 - 0,40x_3 + 0,32x_1^2, \quad (12)$$

$$C_v = 5,2\%;$$

$$\hat{Y}(V_{C^*}) = 147,85 + 26,71x_2 - 7,79x_3 + 3,69x_3^2, \text{ кН}, \quad (13)$$

$$C_v = 10,2\%.$$

Представлені математичні моделі мають суттєву перевагу над іншими статистичними залежностями тому, що вони дозволили не тільки якісно, а й кількісно оцінити вплив кожного конструктивного чинника як зокрема, так і у взаємодії один з одним на показники надійності та несучої здатності конструкцій, що розглядаються. Вони дозволяють порівняти величину цього впливу на вказані параметри за всіма серіями. В подальшому ці моделі можуть бути використані для мінімізації матеріальних витрат шляхом знаходження оптимальних співвідношень величин конструктивних чинників для забезпечення потрібних величин показників надійності та несучої здатності вказаних конструкцій.

Аналіз розроблених математичних моделей показав, що характеристики надійності та несучої здатності нормальних перерізів прогінних залізобетонних конструкцій, армованих попередньо напруженою стержневою арматурою (рис. 5) суттєво відрізняються від аналогічних показників елементів, армованих попередньо напруженою дротяною арматурою. Так, у першому випадку найбільший вплив на розрахункову характеристику надійності нормальних перерізів має клас стержневої арматури (56%), потім клас бетону (4%), в той час, як у другому випадку із дротяною арматурою визначальним є клас бетону (12%).

Серія А

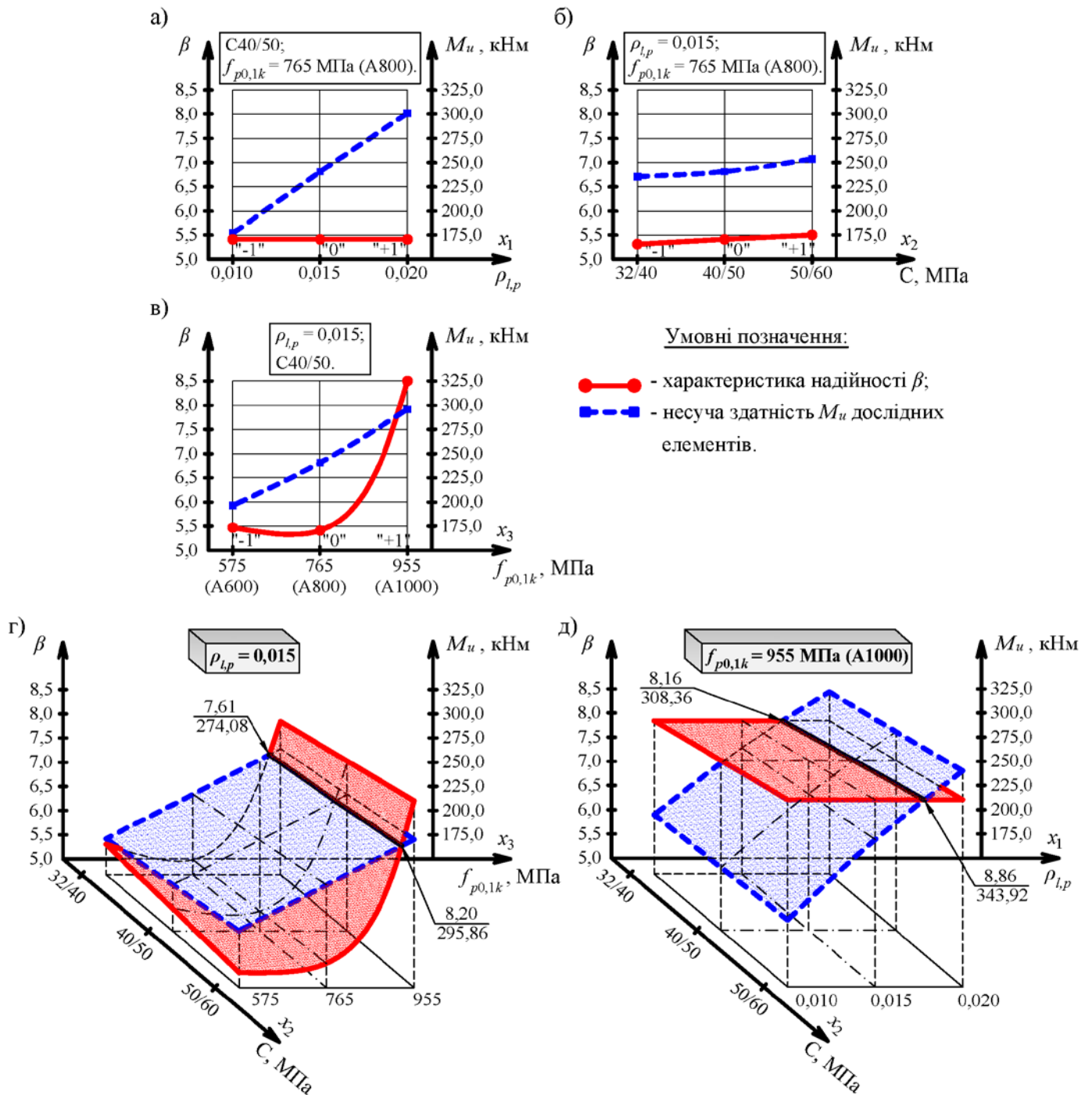


Рис. 5 Залежність характеристики надійності β та несучої здатності нормальних перерізів M_u попередньо напружених прогінних залізобетонних конструкцій від коефіцієнта поздовжнього робочого армування (а), класу бетону (б), класу попередньо напруженої стержневої арматури (в), а також комплексний вплив зазначених конструктивних чинників (г), (д) на β і M_u

Характеристика надійності визначення несучої здатності похилих перерізів вказаних конструкцій за нормативною методикою, в середньому, на 19% є меншою від аналогічного показника нормальних перерізів при використанні в них

попередньо напруженої стержневої арматури (рис. 6) і на 44% в елементах із дротяною арматурою.

Серія В

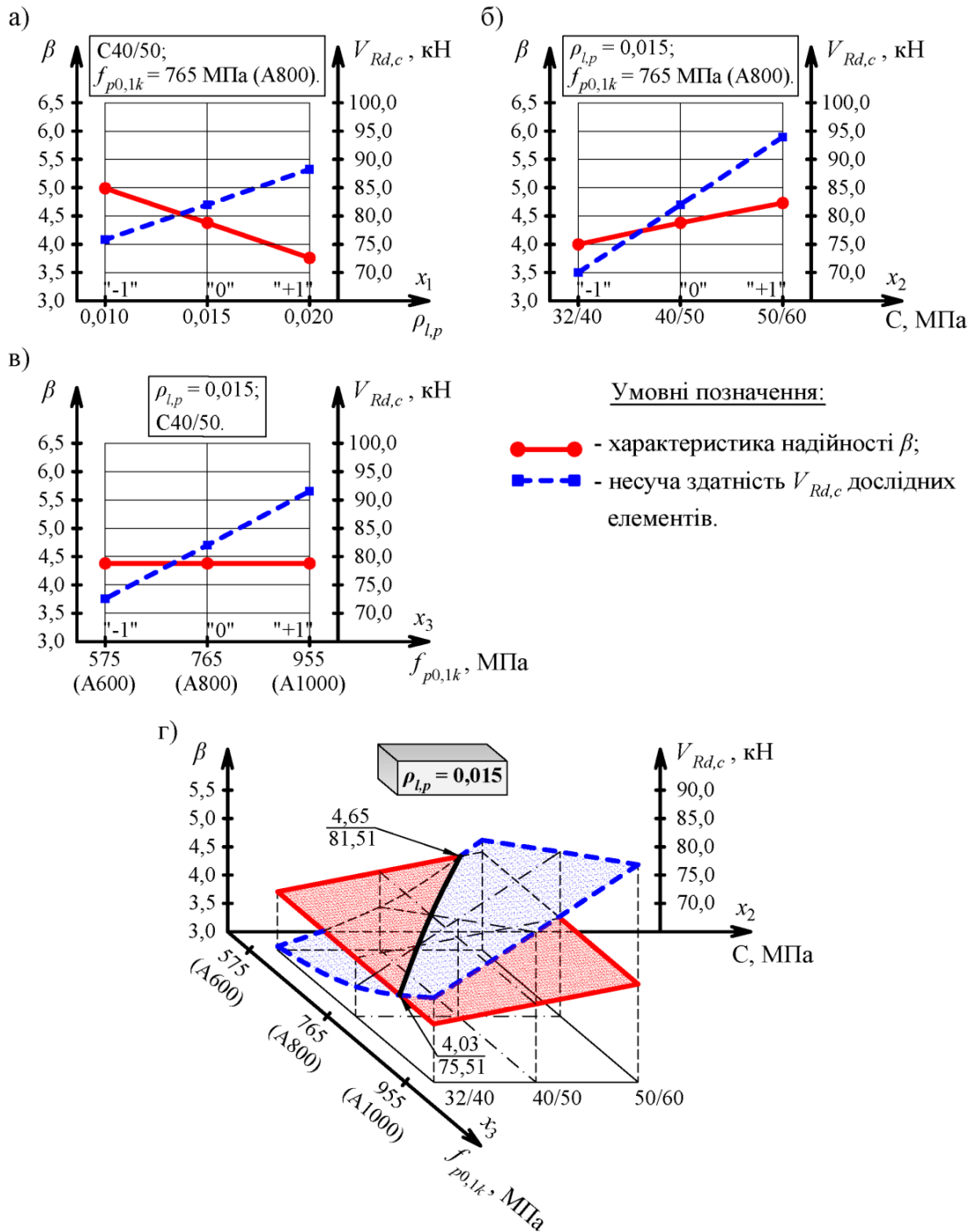


Рис. 6 Вплив кількості поздовжньої робочої арматури (а), класу бетону (б), класу попередньо напруженої стержневої арматури (в), а також комплексний вплив зазначених конструктивних чинників (г) на характеристику надійності β та несучу здатність похилих перерізів $V_{Rd,c}$ попередньо напружених залізобетонних балок прямокутного перерізу

При цьому, визначальний вплив на ці характеристики надійності має кількість поздовжньої попередньо напруженої арматури: при її зменшенні від $\rho_{l,p} = 0,02$ до $\rho_{l,p} = 0,01$ вона (характеристика) збільшується на 28% у першому випадку і на 19% – у другому.

Аналогічний вид мають графіки зміни показників надійності та несучої здатності приопорних ділянок конструкцій, розрахованих за авторською методикою з використанням стержневої та дротяної арматури.

В межах зміни дослідних конструктивних чинників характеристики надійності та несучої здатності зазначених конструкцій утворюють поверхні, лінії перетину яких вказують напрямок їх можливої компромісної оптимізації.

При визначенні розрахункових характеристик надійності β та несучої здатності нормальних M_u і похилих $V_{Rd,c}$ (V) перерізів прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій довільних розмірів у математичних моделях (2)...(13) потрібно перейти від кодованих значень конструктивних чинників x_i до натуральних їх виразів.

У шостому розділі систематизовані усі одержані дані щодо впливу розглянутих конструктивних чинників на розрахункову надійність прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій за першою групою граничних станів. Окрім того, з аналізу результатів раніше проведених досліджень визначений вплив на надійність міцності нормальних та похилих перерізів деяких додаткових чинників, а також наведений перелік факторів, якими рекомендується користуватися при регулюванні надійності вказаного типу конструкцій за другою групою граничних станів.

На основі прийнятих загальних принципів для практичного застосування розроблено наступний алгоритм регулювання розрахункової надійності прогінних залізобетонних конструкцій з попередньо напруженою арматурою, який базується на варіантному методі можливих напрямків операційного програмування:

1. На підставі наявного досвіду або за аналогією з конструкціями, які були запроєктовані раніше, приймаються попередні розміри поперечного перерізу, клас бетону, кількість та розташування арматури в конструкції, що проектується.

2. За рекомендаціями чинних нормативних документів для цього елемента знаходяться:

- несуча здатність нормальних і, за необхідності, похилих перерізів;
- прогини або інший вид деформацій;
- визначається тріщиностійкість нормальних і похилих перерізів, ширина розкриття тріщин за короткочасної та тривалої дії навантаження.

3. Обчислюються характеристики безпеки β_i для кожного із розрахункових граничних станів конструкції.

4. Усі отримані показники надійності β_i порівнюються з рекомендованими нормами значеннями β_{onm} . На практиці доцільно, щоби виконувалася умова:

$$0 \leq \beta_i - \beta_{onm} \leq 0,2\beta_{onm}. \quad (14)$$

Величина $0,2\beta_{onm}$ взята умовно і може бути уточнена для конкретних конструкцій та видів граничних станів. Тим більше, що при здійсненні одночасного регулювання розрахункової надійності конструкції за декількома граничними

станами не завжди вдається утримати усі β_i у вказаних межах. Проте, умова лівої частини нерівності (14) повинна дотримуватися для будь-якого випадку.

5. Якщо не виконується умова правої частини нерівності (14) для деяких граничних станів, то відповідні величини β_i зменшуються шляхом зміни одного або декількох чинників, направлених на економію витрат.

Регулювання розрахункової надійності конструкції при змінному навантаженні полягає, насамперед, у визначенні характеристики надійності під час первинного прикладання навантаження, під час зміни навантаження протягом перших декількох напівциклів, а також її екстраполяції на кінець терміну експлуатації конструкції. Потім здійснюється корегування цієї характеристики у необхідному напрямку.

Наслідком регулювання розрахункової надійності запроєктованих за запропонованим алгоритмом конструкцій може бути як економія матеріалів і енергоресурсів, так і збільшення ступеня їх забезпеченості до необхідного рівня за різними граничними станами.

Для практичного підтвердження цього висновку були виконані розрахунки надійності попередньо напруженої двоскатної решітчастої балки покриття, запроєктованої проф. Барашиковим А.Я. у відомому навчальному посібнику, які показали, що традиційне проектування зазначеної конструкції за раніше діючими нормами СНиП 2.03.01-84* не забезпечує заданої розрахункової надійності несучої здатності нормальних перерізів ($\beta_1^I = 3,2 < 4,75 = \beta_{omn}$) при надмірній забезпеченості надійності несучої здатності похилих перерізів ($\beta_2^I = 13,22 \gg 4,75$) та ширини розкриття нормальних тріщин ($\beta_{crc1}^{II} = 25,04 \gg 3,89$) за короткочасної дії навантаження. Також було показано, що при використанні імовірнісного способу до розрахунку цієї ж балки покриття економія арматури складає 8,1%.

За дії змінного снігового навантаження не забезпечена розрахункова надійність несучої здатності нормальних перерізів зазначеної конструкції ($\beta_1^I = 2,96 \dots 2,00$) та прогинів ($\beta_f^{II} = 3,98 \dots 0,05$). Для її збільшення необхідне підвищення класу бетону до В60 (С50/60), використання високоміцної арматури класу А-VI (А1000) та збільшення кількості робочої арматури.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Існуюча в Україні нормативна база орієнтована на проведення детерміністичних розрахунків, які не завжди дозволяють здійснити кількісну оцінку надійності запроєктованих звичайних залізобетонних елементів. Для прогінних попередньо напружених конструкцій ця задача може бути вирішена тільки із застосуванням імовірнісного підходу при їх проектуванні та використанні диференційованих оцінок мінливості втрат попереднього напруження і діючих зусиль в арматурі всіх її класів та способів натягу, а також розкиду міцнісних характеристик бетону.

Проведений числовий експеримент дозволив отримати нові оцінки розкиду (мінливості) втрат попереднього напруження і діючих зусиль у напруженій арматурі. Встановлено, що на різних стадіях роботи конструкції мінливість втрат

коливається в межах від 0,06 до 0,15, а діючих зусиль – від 0,11 до 0,28 і залежить від великої кількості чинників, зокрема виду втрат, класу арматури, діаметра дротяної арматури та способу її натягу.

2. Адаптовано спосіб визначення розкиду основних параметрів несучої здатності прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій, реалізований у програмному комплексі MATLAB, яку розраховували за рекомендаціями чинних нормативних документів та сучасних авторських методик. Коефіцієнти варіації несучої здатності нормальних та похилих перерізів вказаних конструкцій, які змінюються у межах, відповідно, від 0,03 до 0,09 та від 0,03 до 0,28, виявилися залежними від усіх дослідних конструктивних чинників: класу бетону, класу арматури та коефіцієнту армування.

3. Виконана вперше комплексна якісна та кількісна оцінка ступеня впливу класу бетону, класу і кількості арматури на мінливість несучої здатності нормальних перерізів, а також на характеристику надійності попередньо напружених залізобетонних балок показала, що для регулювання їх розрахункової надійності у випадку армування стержневою арматурою необхідно змінювати, насамперед, її клас. При виготовленні таких балок із дротяною арматурою регулюванню рівною мірою підлягає кожний із зазначених конструктивних чинників.

Для утримання у нормованих межах (4,75) показника надійності несучої здатності похилих перерізів, визначеної за методикою чинних нормативних документів, рекомендується обмежитися регулюванням класу бетону та коефіцієнта армування. За необхідності ж розгляду руйнування приопорних ділянок попередньо напружених елементів за похилою стислою смугою регулювання проектною надійності слід здійснювати шляхом зміни класу і кількості арматури при використанні стержнів та варіювання тільки коефіцієнта армування при застосуванні дроту або канатів.

4. Розроблені та доведені до рівня практичного використання 12 адекватних математичних моделей, які дозволяють достовірно прогнозувати надійність розглянутого типу конструкцій за першою групою граничних станів ще на стадії розробки проекту з урахуванням мінливості фізико-механічних властивостей матеріалів і будь-якої комбінації конструктивних чинників, а крім того паралельно досліджувати спрямованість зміни несучої здатності та показника надійності елементів зі зміною цих чинників, що дає можливість у майбутньому комплексно розв'язувати оптимізаційні задачі.

5. Розроблено алгоритм регулювання надійності прогінних попередньо напружених залізобетонних конструкцій при постійному та змінному навантаженнях. Як показали наведені у дисертації приклади наслідком регулювання розрахункової надійності запроектованих конструкцій за запропонованим алгоритмом може бути як економія матеріалів і енергоресурсів, так і збільшення ступеня їх забезпеченості до необхідного рівня за різними граничними станами.

6. Результати досліджень впроваджені у проектну практику провідних будівельних організацій м. Одеси, зокрема ТДВ «Чорноморгідробуд», а також у навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці магістрів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Промислове та цивільне будівництво».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Кукунаев В.С., Шеховцов И.В., Агаева О.А., Крылова А.А. О некоторых аспектах оценки надежности строительных конструкций. Вісн. Одеської держ. акад. буд-ва та архітектури. Одеса, 2014. Вип. 54. С. 213–218. (*Внесок здобувача: виконано аналіз доступних автору досягнень у галузі імовірнісних розрахунків надійності будівель і споруд*).

2. Шеховцов И.В., Петраш С.В., Крылова А.А., Агаева О.А. Многослойные системы перекрытий. Вісн. Одеської держ. акад. буд-ва та архітектури. Одеса, 2014. Вип. 54. С. 411–415. (*Внесок здобувача: зроблено порівняння даних експериментальних досліджень міцності та деформативності дослідних конструкцій з результатами розрахунків цих параметрів за діючими нормами*).

3. Карпюк В.М., Агаева О.А. Анализ методов расчета показателей надежности элементов железобетонных конструкций. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2015. Вип. 30. С. 134–141. (*Внесок здобувача: визначені основні переваги та недоліки існуючих способів розрахунку показників надійності будівельних конструкцій*).

4. Карпюк В.М., Агаева О.А. Регулирование расчетной надежности изгибаемых предварительно напряженных железобетонных элементов по прочности нормальных сечений. Вісн. Одеської держ. акад. буд-ва та архітектури. Одеса, 2015. Вип. 57. С. 171–181. (*Внесок здобувача: виконана оцінка впливу різних співвідношень конструктивних чинників на коефіцієнти варіації і показники надійності несучої здатності нормальних перерізів дослідних конструкцій*).

5. Клименко Е.В., Карпюк В.М., Агаева О.А. Расчет надежности пролетных железобетонных элементов по прочности нормальных сечений. Наука та будівництво. 2018. № 1. С. 50–57. (*Внесок здобувача: зроблений порівняльний аналіз спрямованості зміни характеристик надійності та несучої здатності нормальних перерізів дослідних елементів зі збільшенням або зменшенням класу бетону, класу арматури та її кількості*).

Стаття у науковому періодичному виданні іншої держави

6. Агаева О.А., Карпюк В.М. Оценка разброса потерь предварительного напряжения и усилий в арматуре пролетных железобетонных конструкций. Вестник МГСУ. 2018. Т. 13, Вып. 6 (117). С. 686–696. (*індексується базами Index Copernicus, UlrichsWeb Global Serials Directory, DOAJ, EBSCO*). (*Внесок здобувача: виконаний порівняльний аналіз впливу різних класів стержневої та дротяної попередньо напруженої арматури, а також способів її натягу на мінливості втрат і діючих зусиль попереднього напруження у цій арматурі*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Агаева О.А., Карпюк В.М. Задача регулирования расчетной надежности железобетонных элементов. Матеріали IV міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. «Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства». Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014. С. 17–20. (*Внесок здобувача: сформульовані*

загальні принципи регулювання розрахункової надійності залізобетонних елементів).

8. Агаєва О. Оптимизация элементов железобетонных конструкций по расчетной надежности. Proceedings of the 4th International Academic Congress «Science and Education in the Modern World». Auckland University Press, 2015. Vol. 2. P. 950–958. (Внесок здобувача: систематизовано дані щодо впливу різних конструктивних чинників на розрахункову надійність залізобетонних конструкцій за різними групами граничних станів, розроблено алгоритм регулювання розрахункової надійності таких конструкцій за дії сталого та змінного навантаження).

9. Карпюк В.М., Агаєва О.А. Регулирование расчетной надежности изгибаемых предварительно напряженных железобетонных элементов по прочности наклонных сечений. Зб. тез доп. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси». Одеса: ОДАБА, 2016. С. 110. (Внесок здобувача: виконаний розрахунок у програмному комплексі MATLAB коефіцієнтів варіації несучої здатності похилих перерізів прогінних попередньо напружених конструкцій методом Монте-Карло).

10. Карпюк В.М., Агаєва О.А. Характеристики розкиду втрат попереднього напруження в арматурі залізобетонних конструкцій. Тези доп. II міжнар. конф. «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд». Одеса: ОДАБА, 2017. С. 49–52. (Внесок здобувача: отримання нових оцінок розкиду втрат попереднього напруження та діючих зусиль в арматурі для деяких її класів з урахуванням існуючих способів натягу за допомогою імовірнісних розрахунків).

11. Агаєва О.А., Карпюк В.М. Розрахунок надійності прогінних залізобетонних елементів за міцністю похилих перерізів. Тези доп. 74-ї наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу академії. Одеса: ОДАБА, 2018. С. 115. (Внесок здобувача: досліджений вплив різних конструктивних чинників на показники надійності несучої здатності похилих перерізів дослідних конструкцій, розрахованою за рекомендаціями чинних норм).

12. Агаєва О.А., Карпюк В.М. Расчетная надежность пролетных предварительно напряженных железобетонных конструкций по несущей способности наклонных сечений. Зб. тез доп. другої наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку будівельного комплексу м. Одеси». Одеса: ОДАБА, 2018. С. 56. (Внесок здобувача: визначений вплив основних конструктивних чинників на характеристики надійності міцності похилих перерізів балкових конструкцій, які руйнуються за похилою стислою смугою, розрахованою за авторською методикою).

АНОТАЦІЯ

Агаєва О.А. Розрахункова надійність прогінних залізобетонних конструкцій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2019.

Дисертаційна робота присвячена регулюванню розрахункової надійності попередньо напружених залізобетонних балкових конструкцій у рекомендованих межах при одночасному забезпеченні їх несучої здатності.

У результаті числового експерименту отримані нові оцінки розкиду втрат попереднього напруження і діючих зусиль у попередньо напруженій арматурі, коефіцієнти варіації міцності нормальних і похилих перерізів, а також показники надійності зазначених елементів, які були розраховані за рекомендаціями чинних нормативних документів та сучасних апробованих методик.

Розроблені математичні моделі, які дозволяють не тільки достовірно прогнозувати надійність запроектованих конструкцій за першою групою граничних станів та оцінювати ступінь впливу на її величину найбільш важливих конструктивних чинників, а й досліджувати спрямованість спільної зміни несучої здатності та характеристики надійності елементів зі зміною цих чинників.

Запропонований алгоритм регулювання розрахункової надійності прогінних попередньо напружених конструкцій, використання якого дає змогу як знизити матеріалоемність та енергомісткість їх виготовлення, так і підвищити надійність конструкцій. Ефективність наведеного алгоритму показана на конкретних прикладах.

Ключові слова: розрахункова надійність, регулювання, математична модель, несуча здатність, прогінні залізобетонні конструкції, попередньо напружена арматура, втрати, зусилля, коефіцієнт варіації, метод статистичних випробувань, метод лінеаризації, ймовірнісний розрахунок, випадкова величина.

АННОТАЦІЯ

Агаева О.А. Расчетная надежность пролетных железобетонных конструкций. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2019.

Диссертационная работа посвящена регулированию расчетной надежности предварительно напряженных железобетонных балочных конструкций в рекомендуемых пределах при одновременном обеспечении их несущей способности.

В результате численного эксперимента получены новые оценки разброса потерь предварительного напряжения и действующих усилий в предварительно напряженной арматуре, коэффициенты вариации прочности нормальных и наклонных сечений, а также показатели надежности указанных элементов, которые были рассчитаны по рекомендациям действующих нормативных документов и современных апробированных методик.

Разработаны математические модели, позволяющие не только достоверно прогнозировать надежность проектируемых конструкций по первой группе предельных состояний и оценивать степень влияния на ее величину наиболее важных конструктивных факторов, но и исследовать направленность совместного

изменения несущей способности и характеристики надежности элементов с изменением этих факторов.

Предложен алгоритм регулирования расчетной надежности пролетных предварительно напряженных конструкций, использование которого дает возможность, как снизить материало- и энергоемкость их изготовления, так и повысить надежность конструкций. Эффективность приведенного алгоритма показана на конкретных примерах.

Ключевые слова: расчетная надежность, регулирование, математическая модель, несущая способность, пролетные железобетонные конструкции, предварительно напряженная арматура, потери, усилия, коэффициент вариации, метод статистических испытаний, метод линеаризации, вероятностный расчет, случайная величина.

ABSTRACT

Ahaieva O.A. Design reliability of span reinforced concrete structures. – Manuscript.

The thesis for the PhD scientific degree (doctor of philosophy) in specialty 05.23.01 – building constructions, buildings and structures. – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, 2019.

The dissertation is devoted to the regulation of design reliability of prestressed reinforced concrete beam structures in the recommended limits while ensuring their load-bearing capacity.

The work presents detailed analysis of existing achievements in the field of probabilistic calculations of buildings and structures. Particular attention was paid to considering the existing methods for determining the reliability indexes of building structures. It has been established that existing studies on the reliability of construction objects are distinguished in terms of setting tasks and methods for their solution.

A numerical experiment allowed to obtain new estimates of prestress losses and acting forces scatter in the reinforcement of all its classes, which are used in prestressed structures, taking into account the existing methods of tension. The scatter values were determined using the statistical tests method (Monte-Carlo) or linearization of calculation formulas by the Taylor series expansion. The variability of prestress losses and acting forces in the reinforcement at different stages of the construction behavior is dependent on a large number of factors, in particular the type of losses itself, the class of reinforcement, the diameter of the wire, and the method of its tension.

According to the recommendations of current normative documents and modern author's techniques, the calculations of coefficients of variation and reliability indexes of load-bearing capacity of normal and oblique sections of prestressed span structures for various combinations of concrete class, the class of reinforcement and its amount in the software complex MATLAB were performed. The obtained results allowed to evaluate qualitatively the influence of each constructive factor at the magnitude of reliability characteristic of mentioned constructions and to develop recommendations for its regulation. In addition, in most cases, the multi-directional change of strength and design

reliability of these elements by the considered limit state was determined with the growth or decline of a certain constructive factor.

The simulation of design reliability and load-bearing capacity of normal and oblique sections of prestressed span reinforced concrete structures was made. There were implemented 6 series of numerical experiments, which were carried out by a 3-level D-optimal Box-Behnken B3 plan. During the processing the obtained in numerical experiments data with the help of an effective computer program COMPEX 12 adequate mathematical models of design characteristics of reliability and load-bearing capacity of mentioned elements with bar and wire reinforcement were received. These mathematical models allowed to estimate not only qualitatively but also quantitatively the influence of each constructive factor both separately and in interaction with each other at the reliability and load-bearing capacity of considered constructions. Subsequently, they can be used to minimize material costs by finding the optimal ratios of the values of constructive factors to provide the required values of reliability and load-bearing capacity indexes of span reinforced concrete structures with prestressed reinforcement.

On the basis of accepted general principles an algorithm of regulation of design reliability of span reinforced concrete structures with prestressed reinforcement under dead and live load is developed. It is based on the variant method of possible directions of operational programming. According to the proposed algorithm, some practical calculations of the reliability of a prestressed gable lattice roof beam were made. They showed that the traditional design of this structure doesn't provide the target design reliability of load-bearing capacity of normal sections with the excessive security of load-bearing capacity of oblique sections and the width of normal cracks opening for short-term load action. Under the action of a live snow load, the design reliability of load-bearing capacity of normal sections and deflections isn't ensured. It is shown that the use of the given algorithm allows to reduce the material- and energy intensity of their production, as well as to increase the reliability of structures.

Key words: design reliability, regulation, mathematical model, load-bearing capacity, span reinforced concrete structures, prestressed reinforcement, losses, forces, coefficient of variation, statistical tests method, linearization method, probabilistic calculation, random variable.