

АНОТАЦІЯ

Дроботя О.В. Міцність та деформативність несучих та огорожувальних сталезалізобетонних конструкцій з холодноформованих сталевих профілів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за Спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія», Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво» Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – Полтава, 2026.

Холодноформовані сталеві профілі слід розглядати як сучасний, економічно доцільний та універсальний матеріал для виготовлення несучих та огорожувальних сталезалізобетонних конструкцій, потенціал яких в умовах України залишається реалізованим не повною мірою.

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, що вирішується, сформульовано мету, завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів роботи, наведено відомості про особистий внесок та апробацію матеріалів дисертації, представлено її загальну структуру та обсяг.

У **першому розділі** проаналізовано історію виникнення холодноформованих сталевих конструкцій, що розпочинається ще з XII століття, коли металеві конструкції почали використовувати як зв'язки в кам'яних будівель. У Європі та Америці холодноформовані сталеві конструкції швидко набули популярності в одноповерхових та малоповерховому зведенні будівель, промислових і будівлях, які будувати під склади. Конструктивна різноманітність холодноформованих сталевих конструкцій включає лінійні профілі для колон, балок, прогонів і ферм, а також площинні – профільовані настили трьох основних груп: з прямолінійними елементами; поздовжніми чи поздовжніми; поперечними ребрами жорсткості.

Холодноформовані сталеві конструкції чутливі до різних форм втрати стійкості, що підкреслює актуальність і доцільність їх застосування у композитних конструкціях, зокрема у сталезалізобетонних. Надійне закріплення сталі із бетоном у композитних конструкціях забезпечується анкерними елементами різних типів: жорсткими упорами; гнучкими анкерами; рельєфними виштамповками на профнастил; привареними шпильками. Перспективним способом підвищення несучої здатності та жорсткості балок з холодноформованих сталевих конструкцій є попереднє напруження, яке економить витрати сталі при зменшенні прогинів і дозволяє ефективніше застосовувати високоякісні марки.

У **другому розділі** розглянуто теоретичні основи визначення міцності та деформативності сталезалізобетонних балок з холодноформованих сталевих профілів. Перш за все, розглянуто доцільність застосування для визначення параметрів напружено-деформованого стану згинаних сталезалізобетонних конструкцій метод приведених перерізів. Доведено, що найбільш доцільно виконувати приведення бетонного перерізу до сталевому за допомогою коефіцієнту приведення, порахованого співвідношеннями і бетону: розрахункового значення міцності бетону на стиск та розрахункової міцності сталеві частини перерізу на межі текучості. Окрема увага приділена розрахунку сталезалізобетонних конструкцій із холодноформованих сталевих профілів при двовісному навантаженні. Далі у роботі розглянуто загальні засади створення раціональних попередніх напружень у компонентах сталебетонних прогонів, виготовлених із холодноформованих сталевих профілів. Ефективним методом попереднього вигину сталеві частини сталезалізобетонних конструкцій є їх попереднє деформування вигинами, що протилежні експлуатаційним. Такі вигини створюються або домкратами, або шляхом влаштування додаткових попередньо напружених стержнів. При цьому попередньо зігнутий стан сталеві частини фіксується або зварюванням її складових частин під час виготовлення,

або зміною умов закріплення цієї сталеві балкової частини з колонами, або власне влаштуванням напружених додаткових стержнів, або обетонуванням сталеві частини перерізу сталезалізобетонних конструкцій. У роботі запропоновано фіксувати попередньо зігнутий стан сталеві частини конструкції заповненням бетоном внутрішньої порожнини сталеві U-подібної частини перерізу сталебетонного стержня, що може використовуватися у якості стінового прогону.

Також наведено основні розрахункові залежності обчислення зусиль у зв'язках зсуву балок, завантажених по центру прольоту зосередженою силою при жорсткому поєднанні бетонної та сталеві частин перерізу. Зсувні зусилля у контактному шві будуть визначатися, як для монолітної двохшарові балки за залежностями теорії складених стержнів.

У **третьому розділі** наведено результати проведених експериментальних досліджень напружено-деформованого стану та несучі здатності попередньо напружених сталебетонних стінових прогонів, що виготовлені із гнутих швелерів №10 з товщиною стінки 3 мм довжиною 3000 мм із заповненою бетоном U-подібною порожниною та працюють в умовах косого (двовісного) згину.

Встановлено наступне:

- шляхом заповнення бетоном внутрішньої порожнини сталеві U-подібної частини перерізу можливо фіксувати її попередньо напружений (попередньо вигнутий) стан. Після набору бетоном міцності та відпуску домкрату попередній вигин зменшується на 81% для зразків із заповненням бетоном в рівень з перами швелеру і на 31% для зразків із заповненням бетоном на 30 мм (в 1,6 рази) вище від рівня пера полицок швелера;
- заповнення внутрішньої порожнини швелера бетоном підвищує до 2 раз несучу здатність і жорсткість сталебетонних прогонів, що працюють на косий згин;

- попередній вигин сталеві частини перерізу сталобетонного прогону, що працює на косий згин, підвищує його несучу здатність до 10% та жорсткість до 25%;

- збільшення в 1,6 рази висоти перерізу бетонного осердя попередньо напруженого сталобетонного прогону, що працює на косий згин, підвищує його несучу здатність до 33% та жорсткість до 60%.

Таким чином, експериментально досліджені попередньо напружені сталобетонні прогони, що складаються із гнutoго швелеру №10 з товщиною стінки 3 мм заповненого бетоном та працюють на косий згин (при умові, що горизонтальне навантаження вдвічі більше за вертикальне) мають практично таку ж несучу здатність при вищій до 67% жорсткості, як, наприклад, сталевий прогін, виконаний із труби 80×3 мм, що дозволяє зменшити витрати сталі на 38,5%.

У **четвертому розділі** доведено ефективність ресурсощадної технології влаштування сталезалізобетонних конструкцій з холодноформованих сталевих профілів, що базується на оптимізації та врівноваженні рівня використання несучої здатності монолітної залізобетонної плити сталезалізобетонних згинаних конструкцій. Дана технологія була впроваджена під час влаштування консольних балконних плит реконструйованої будівлі у м. Харків. Отримані результати досліджень слугували основною оптимізації комплексу робочих креслень марки КБ по влаштуванню балконних плит вказаної будівлі. Також у четвертому розділі наведено статистичну обробку порівняння теоретичних і експериментальних результатів проведених досліджень.

Ключові слова: сталезалізобетонні конструкції, холодноформовані сталеві профілі, напружено-деформований стан, міцність, деформативність, розрахунок, проектування, виготовлення, експериментальні дослідження.

ABSTRACT

Drobotya O.V. Strength and deformability of load-bearing and enclosing reinforced concrete structures from cold-formed steel profiles. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 – Construction and civil engineering (19 “Architecture and construction”). – National University “Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk”. – Poltava, 2026.

Cold-formed steel profiles should be considered as a modern, economically feasible and universal material for the manufacture of load-bearing and enclosing reinforced concrete structures, the potential of which in the conditions of Ukraine remains not fully realized.

The **introduction** substantiates the relevance of the problem being solved, formulates the goal, objectives of the research, scientific novelty and practical significance of the results obtained, provides information on personal contribution and approval of the dissertation materials, presents its general structure and scope.

The **first section** analyzes the history of the emergence of cold-formed steel structures, which begins in the 12th century, when metal structures began to be used as ties in stone buildings. In Europe and America, cold-formed steel structures quickly gained popularity in single-story and low-rise construction of buildings, industrial and warehouse buildings. The structural diversity of cold-formed steel structures includes linear profiles for columns, beams, girders and trusses, as well as planar - profiled decks of three main groups: with rectilinear elements; longitudinal or longitudinal; transverse stiffeners. Cold-formed steel structures are sensitive to various forms of loss of stability, which emphasizes the relevance and feasibility of their use in composite structures, in particular in steel-reinforced concrete. Reliable fastening of steel to concrete in composite structures is ensured by anchor elements of various types: rigid stops; flexible anchors; relief stampings on corrugated board; welded studs. A promising method for increasing the bearing capacity and stiffness of beams from cold-formed

steel structures is prestressing, which saves steel consumption while reducing deflections and allows for more efficient use of high-quality grades.

The **second section** considers the theoretical foundations of determining the strength and deformability of steel-reinforced concrete beams from cold-formed steel profiles. First of all, the feasibility of using the reduced cross-section method to determine the parameters of the stress-strain state of bent steel-reinforced concrete structures is considered. It is proved that it is most expedient to reduce the concrete cross-section to the steel cross-section using the reduction factor calculated from the ratios of concrete: the calculated value of the compressive strength of concrete and the calculated strength of the steel part of the cross-section at the yield point. Special attention is paid to the calculation of reinforced concrete structures from cold-formed steel profiles under biaxial loading. Further, the work considers the general principles of creating rational prestresses in the components of reinforced concrete girders made from cold-formed steel profiles.

An effective way to prestress the steel part of reinforced concrete structures is to pre-deform them with bends that are opposite to the operational ones. Such bends are arranged either with jacks or by installing additional prestressed rods. In this case, the pre-bent state of the steel part is fixed either by welding its components during manufacture, or by changing the conditions of fastening this steel beam part to the columns, or by installing additional stressed rods, or by concreting the steel part of the cross-section of steel-reinforced concrete structures. The work proposes to fix the pre-bent state of the steel part of the structure by filling the internal cavity of the steel U-shaped part of the cross-section of the steel-reinforced concrete rod with concrete, which can be used as a wall purlin. The main calculation dependencies for calculating the forces in the shear connections of beams loaded at the center of the span with a concentrated force with a rigid connection of the concrete and steel parts of the cross-section are also given. The shear forces in the contact seam will be determined as for a

monolithic two-layer beam according to the dependencies of the theory of composite rods.

The **third section** presents the results of experimental studies of the stress-strain state and bearing capacity of prestressed steel-concrete wall girders made of bent channels No. 10 with a wall thickness of 3 mm and a length of 3000 mm with a concrete-filled U-shaped cavity and operating under conditions of oblique (biaxial) bending. The following was established:

- by filling the internal cavity of the steel U-shaped part of the cross-section with concrete, it is possible to fix its prestressed (pre-bent) state. After the concrete gains strength and the jack is released, the pre-The bending moment is reduced by 81% for specimens filled with concrete at the level of the channel flanges and by 31% for specimens filled with concrete 30 mm (1.6 times) above the level of the flange of the channel flanges;

- filling the internal cavity of the channel with concrete increases the bearing capacity and stiffness of reinforced concrete girders operating on oblique bending by up to 2 times;

- preliminary bending of the steel part of the cross-section of a reinforced concrete girder operating on oblique bending increases its bearing capacity by up to 10% and stiffness by up to 25%;

- an increase in the cross-section height of the concrete core of a prestressed reinforced concrete girder operating on oblique bending by 1.6 times increases its bearing capacity by up to 33% and stiffness by up to 60%.

Thus, experimentally investigated prestressed reinforced concrete girders consisting of a bent channel No. 10 with a wall thickness of 3 mm filled with concrete and operating on an oblique bend (provided that the horizontal load is twice as large as the vertical load) have practically the same bearing capacity with a stiffness higher by up to 67%, as, for example, a steel girder made of an 80×3 mm pipe, which allows reducing steel consumption by 38.5%.

The **fourth section** proves the effectiveness of the resource-saving technology of installing reinforced concrete structures from cold-formed steel profiles, which is based on optimizing and balancing the level of use of the bearing capacity of a monolithic reinforced concrete slab of reinforced concrete bent structures. This technology was implemented during the installation of cantilever balcony slabs of a reconstructed building in Kharkiv. The obtained research results served as the main optimization of the set of working drawings of the KB brand for the arrangement of balcony slabs of the specified building. Also, the fourth section provides statistical processing of the comparison of theoretical and experimental results of the conducted research.

Keywords: steel-reinforced concrete structures, cold-formed steel profiles, stressed-deformed state, strength, deformability, calculation, design, manufacturing, experimental research.