

АНОТАЦІЯ

Кіріченко Д. О. Несуча здатність аеродромних і дорожніх плит з фібробетону.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2023.

Дисертаційне дослідження присвячене вивченню впливу дисперсного армування бетону сталевую фіброю на несучу здатність та деформативність аеродромних та дорожніх плит.

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

У **першому розділі** дисертації представлений детальний огляд та аналіз існуючої нормативної бази розрахунків дорожніх та аеродромних плит і публікацій, що відбивають досягнення вітчизняних та закордонних науковців стосовно несучої здатності та деформативності аеродромних і дорожніх плит. Особливу увагу приділено розгляду існуючих нормативних документів України і пропонованих у них аналітичних та експериментальних методів дослідження плит. Зазначено, що номенклатура плит для збірних дорожніх покриттів значно ширше, ніж аеродромних: плити випускаються як з попередньо напруженою, так і з ненапруженою арматурою. Розрахунок бетонних, залізобетонних та фібробетонних аеродромних і дорожніх плит слід виконувати за граничними станами першої та другої груп.

Згідно з ДСТУ, випробування дорожніх плит з міцності та тріщиностійкості слід проводити за прольотною схемою навантаження, а випробування аеродромних плит ДСТУ рекомендує проводити за двома схемами навантаження – у прольоті та на консолі.

Європейські технічні стандарти (EN) так само, як і норми України, рекомендують виконувати розрахунок бетонних, залізобетонних і фібробетонних плит за граничними станами першої та другої груп. Однак істотна відмінність EN полягає в тому, що вони пропонують парціальні коефіцієнти надійності.

Аналогічні норми, що діють у США, — АСІ 318 «Вимоги до будівельних норм для конструкційного бетону і коментарі» — дають такі ж рекомендації.

Щодо випробувань плит з міцності та тріщиностійкості, усі норми рекомендують для дорожніх плит тільки прольотну схему навантаження, а для випробування аеродромних плит — дві схеми навантаження.

У ході аналізу публікацій, присвячених тематиці дисертаційної роботи, встановлено, що перші дослідження дорожніх та аеродромних плит належать Б.М. Жемочкіну та А.П. Синіцину, які використовували розрахункову схему плити на пружній основі. Переважна більшість вчених, які займалися цією проблемою після них, у тому числі й сучасні дослідники, також дотримувалися розрахункової схеми плити на пружній основі. Справді, споруди такого роду є багаторазово статично невизначеними системами, оскільки вони, стикаючись із основою всіма точками своєї нижньої поверхні, мають незліченну безліч точок зіткнення — опор, що визначає значну трудність розрахунку, особливо, якщо врахувати, що опори тією чи іншою мірою податливі.

Таким чином, між аналітичними розрахунками аеродромних та дорожніх плит та експериментальними дослідженнями спочатку існує принципова різниця, оскільки вони ґрунтуються на різних розрахункових схемах. Звідси випливає висновок про те, що збіг розрахункових та експериментальних даних про несучу здатність та тріщиностійкість аеродромних та дорожніх плит може носити суто випадковий характер, на відміну від інших конструкцій.

У другому розділі роботи наведені методика та результати експериментальних досліджень дорожніх та аеродромних плит.

Відповідно до програми досліджень міцності та тріщиностійкості дорожніх та аеродромних плит на замовлення кафедри будівельної механіки на підприємстві ТОВ «Великодолинський завод ЗБК» було виготовлено дві дорожні та дві аеродромні плити. У кожній з цих груп одна плита виготовлена із залізобетону за традиційною заводською технологією серійного виробництва, а в другу додавалася сталева фібра в кількості 1 % за обсягом. Випробуванням серійних плит передували випробування модельних зразків, що і стало одним із завдань даної роботи.

Проведені експериментальні дослідження на модельних зразках плит включали в себе три етапи. Метою першого етапу було визначення оптимальних характеристик сталевібробетонної суміші. Для цього визначалася кубикова міцність сталевібробетону на зразках 100x100x100 мм. При цьому варіювався відсоток дисперсного армування, який становив 0,5 %, 1,0 % і 1,5 %, а також розмір фракції крупного заповнювача (щебінь) — з розміром фракції ≤ 10 мм в одній серії випробувань та ≤ 20 мм — в другій. Одночасно визначалася кубикова міцність звичайного бетону при тих же розмірах крупного заповнювача. Всього було проведено 8 серій випробувань по 9 зразків в кожній. Результати цього етапу показали, що оптимальними характеристиками вібробетонної суміші є матриця з крупним заповнювачем фракції ≤ 10 мм при 1,0 % фібрового армування.

Для випробувань моделей дорожніх та аеродромних плит розроблений універсальний стенд. Виготовлені моделі плит — 12 зразків, шість із яких мали додаткове дисперсне армування у кількості 1 % за обсягом. На другому етапі 6 зразків досліджувалися за прогоновою схемою навантаження, а на третьому етапі ще 6 зразків — за консольною схемою навантаження. Виконане комп'ютерне моделювання та скінчено-елементний аналіз плит у двох програмах — ПК ЛІРА-САПР і SOFiSTiK. Наведено порівняльний

аналіз результатів, отриманих експериментально, методом скінчених елементів та за рекомендаціями діючих нормативних документів.

Третій розділ дисертації присвячений розрахункам досліджуваних плит за нормальними перерізами. Слід зазначити, що, як у зарубіжній, і у вітчизняній науковій літературі немає єдиного підходу до розв'язання цієї проблеми, що часто призводить до значних розбіжностей у результатах.

Для визначення несучої здатності в даній роботі були проведені теоретичні та експериментальні дослідження плит. Розміри моделей залізобетонних та сталевібробетонних плит становили 1375x825x65 мм. Обидві серії плит були армовані просторовим каркасом, який складався з двох сіток арматури типу Вр-1 діаметром 5 мм.

Певні теоретичні розрахунки виконувалися за серією стандартів, нормативних документів та методик. Теоретичні та експериментальні дослідження проводилися за двома етапами для двох серій плит – залізобетонних та сталевібробетонних, при прикладанні навантаження у прольотній або у консольній частинах. Теоретичний розрахунок виконувався за міцністю нормальних перерізів для перерізу прямокутного профілю із подвійною ненапруженою арматурою. Розрахунки виконувалися для елементів залізобетонних та сталевібробетонних конструкцій за граничним станом I групи на дію згинальних моментів для другої форми рівноваги – тобто у перерізі є зона розтягу.

Розглядалися залізобетонні та фібробетонні плити за двох схем навантаження — прогонової та консольної.

Моделі плит із залізобетону розраховували за методикою Полякова Л.П., Лисенко Є.Ф., Кузнецової Л.В та за методикою ДСТУ Б.В.2.6–156:2010 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону», моделі плит із фібробетону — за методикою ДСТУ Н.Б.В.2.6–78:2009 «Настанова з проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій» та за ДСТУ–Н Б В.2.6–218:2016 «Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону» . Для порівняння за методикою,

що приведена в ДСТУ–Н Б В.2.6–218:2016, також була здійснена перевірка міцності діаграмним методом плити №4 із сталевібробетону за згинальними моментами у консольній частині.

Наведені значення згинальних моментів для кожної моделі плит, що були отримані теоретичним і експериментальним шляхом, добре узгоджуються між собою. Для залізобетонних плит при обох схемах навантаження відхилення складає 10 %, а для фібробетонних — 0,4 %.

В **четвертому розділі** дисертаційної роботи представлені розрахунки досліджуваних плит за похилими перерізами. Сталевібробетон та залізобетон є неоднорідними матеріалами. В «пружній» стадії вони стають крихкими, та зростає раптовість вичерпання несучої здатності. У більшій складності це стосується похилих перерізів в згинальних елементах. Під час визначення несучої здатності елементів, які працюють на зріз без поперечного армування, виникають складнощі ще й із складним напружено-деформованим станом елемента.

Для проведення розрахунків конструкцій за міцністю похилих перерізів на дію поперечних сил моделі плит із залізобетону розраховували за методикою Полякова Л.П., Лисенко Є.Ф., Кузнецової Л.В та за методикою ДСТУ Б.В.2.6–156:2010 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону», моделі плит із фібробетону — за методикою ДСТУ Н.Б.В.2.6–78:2009 «Настанова з проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій» та за ДСТУ–Н Б В.2.6–218:2016 «Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсно армованого бетону». Наведені значення згинальних моментів для кожної моделі плит, що були отримані теоретичним і експериментальним шляхом, добре узгоджуються між собою. Для залізобетонних плит при обох схемах навантаження відхилення складає 10 %, а для фібробетонних — 0,4 %.

Результати, отримані в даній науково-дослідній роботі, впроваджені в практику проектування та експлуатації будівель, а також використовуються в навчальному процесі закладів вищої освіти.

Ключові слова: дорожня плита, аеродромна плита, залізобетон, фібробетон, випробування, несуча здатність, тріщиностійкість, нормальний переріз, похилий переріз, комп'ютерне моделювання.

ABSTRACT

Kirichenko D. O. Carrying capacity of airfield and road slabs made of fiber concrete.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 192 – Construction and civil engineering. – Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, 2023.

The dissertation study is devoted to the study of the influence of dispersed reinforcement of concrete with steel fiber on the bearing capacity and deformability of airfield and road slabs.

In the **introduction**, the justification for the choice of the research topic is given, the purpose and tasks of the research, scientific novelty and practical significance of the work are formulated, its general characteristics and connection with scientific programs are presented.

The **first section** of the thesis presents a detailed review and analysis of the existing normative basis for calculations of road and airfield slabs and publications that reflect the achievements of domestic and foreign scientists regarding the bearing capacity and deformability of airfield and road slabs. Special attention is paid to the consideration of the existing normative documents of Ukraine and the analytical and experimental methods of slab research proposed in them. It is noted that the range of slabs for prefabricated road surfaces is much wider than for airfields: slabs are produced both with pre-stressed and non-stressed reinforcement. The calculation of concrete, reinforced concrete and fiber concrete airfield and road slabs should be performed according to the limit states of the first and second groups.

According to DSTU, tests of road slabs for strength and crack resistance should be carried out according to the span load scheme, and tests of airfield slabs

are recommended by DSTU to be carried out according to two load schemes - in the span and on the console.

European technical standards (EN), as well as Ukrainian standards, recommend calculating concrete, reinforced concrete and fiber concrete slabs according to the limit states of the first and second groups. However, the essential difference between ENs is that they offer partial reliability coefficients.

Analogous regulations in force in the USA, — ACI 318 "Construction Code Requirements for Structural Concrete and Comments" — give the same recommendations.

Regarding tests of slabs for strength and crack resistance, all standards recommend only one span load scheme for road slabs, and two load schemes for testing airfield slabs.

During the analysis of publications devoted to the topic of the dissertation, it was established that the first studies of road and airfield slabs belong to B.M. Zhemochkin and A.P. Sinitsin, who used the calculation scheme of a slab on an elastic base. The vast majority of scientists who dealt with this problem after them, including modern researchers, also followed the calculation scheme of the plate on an elastic basis. Indeed, structures of this kind are repeatedly statically indeterminate systems, since they, in contact with the base at all points of their lower surface, have an innumerable set of contact points — supports, which determines the significant difficulty of calculation, especially if we consider that the supports are flexible to one degree or another.

Thus, there is a fundamental difference between analytical calculations of airfield and road slabs and experimental studies, since they are based on different calculation schemes. From this follows the conclusion that the coincidence of calculated and experimental data on the bearing capacity and crack resistance of airfield and road slabs can be purely random, unlike other structures.

The **second section** of the work presents the methodology and results of experimental studies of road and airfield slabs.

In accordance with the research program on the strength and crack resistance of road and airfield slabs, two road slabs and two airfield slabs were manufactured by order of the Department of Construction Mechanics at Velikodolynsky Zavod ZBK LLC. In each of these groups, one slab is made of reinforced concrete according to the traditional mass-production factory technology, and steel fiber was added in the amount of 1% by volume to the second. Tests of serial plates were preceded by tests of model samples, which became one of the tasks of this work.

The conducted experimental studies on model samples of slabs included three stages. The purpose of the first stage was to determine the optimal characteristics of the steel fiber concrete mixture. For this, the cubic strength of steel fiber concrete was determined on samples of 100x100x100 mm. At the same time, the percentage of dispersed reinforcement varied, which was 0.5%, 1.0% and 1.5%, as well as the size of the fraction of coarse aggregate (crushed stone) — with the size of the fraction ≤ 10 mm in one series of tests and ≤ 20 mm — in the second. At the same time, the cubic strength of ordinary concrete with the same dimensions of coarse aggregate was determined. A total of 8 test series of 9 samples each were conducted. The results of this stage showed that the optimal characteristics of the fiber concrete mixture are the matrix with coarse aggregate of ≤ 10 mm fraction with 1.0% fiber reinforcement.

A universal stand has been developed for testing models of road and airfield slabs. The manufactured plate models are 12 samples, six of which had additional dispersed reinforcement in the amount of 1% by volume. At the second stage, 6 samples were tested according to the running load scheme, and at the third stage, another 6 samples were tested according to the cantilever load scheme. Computer modeling and finite-element analysis of slabs were performed in two programs - PC LIRA-SAPR and SOFiSTiK. A comparative analysis of the results obtained experimentally, using the finite element method and according to the recommendations of current regulatory documents is given.

The **third section** of the dissertation is devoted to the calculations of the studied slabs according to normal sections. Theoretical and experimental studies were conducted to determine the bearing capacity. The dimensions of the models of reinforced concrete and steel fiber concrete slabs were 1375x825x65 mm. Both series of slabs were reinforced with a spatial frame, which consisted of two meshes of type Br-1 reinforcement with a diameter of 5 mm.

Certain theoretical calculations were performed according to a series of standards, normative documents and methods. Theoretical and experimental studies were carried out in two stages for two series of slabs - reinforced concrete and steel fiber concrete, when the load was applied in the span or in the cantilever parts. The theoretical calculation was performed based on the strength of normal sections for a section of a rectangular profile with double non-stressed reinforcement. Calculations were performed for elements of reinforced concrete and steel-reinforced concrete structures according to the limit state of the I group under the action of bending moments for the second form of equilibrium — that is, there is a tension zone in the section.

Reinforced concrete and fiber concrete slabs were considered under two loading schemes — girder and cantilever.

Models of reinforced concrete slabs were calculated according to the method of L.P. Polyakov, E.F. Lysenko, and L.V. Kuznetsova and according to the method of DSTU B.V.2.6–156:2010 "Concrete and reinforced concrete structures from heavy concrete", models of slabs made of fiber concrete - according to the methodology of DSTU N.B.V.2.6–78:2009 "Instructions for the design and manufacture of steel fiber concrete structures" and according to DSTU–N B V.2.6–218:2016 "Instructions for design and manufacturing structures from dispersed reinforced concrete". For comparison, according to the methodology given in DSTU–NB V.2.6–218:2016, a strength check was also carried out by the diagrammatic method of slab No. 4 made of steel fiber concrete according to bending moments in the cantilever part.

The given values of bending moments for each model of plates, which were obtained theoretically and experimentally, agree well with each other. For reinforced concrete slabs with both load schemes, the deviation is 10%, and for fiber concrete slabs — 0.4%.

The **fourth section** of the dissertation presents the calculations of the studied slabs for inclined sections. Steel fiber concrete and reinforced concrete are heterogeneous materials. In the "elastic" stage, they become fragile, and the suddenness of exhaustion of the bearing capacity increases. In greater complexity, this applies to inclined sections in bending elements. When determining the load-bearing capacity of elements that work in shear without transverse reinforcement, difficulties also arise with the complex stress-strain state of the element.

To carry out calculations of the strength of inclined sections on the effect of transverse forces, models of reinforced concrete slabs were calculated according to the method of L.P. Polyakov, E.F. Lysenko, and L.V. Kuznetsova and according to the method of DSTU B.V.2.6–156: 2010 "Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete", models of slabs made of fiber concrete - according to the methodology of DSTU N.B.V.2.6–78:2009 "Guidelines for the design and manufacture of steel fiber concrete structures" and according to DSTU–N B V.2.6–218:2016 "Instructions for designing and manufacturing structures from dispersed reinforced concrete".

The given values of bending moments for each model of plates, which were obtained theoretically and experimentally, agree well with each other. For reinforced concrete slabs with both load schemes, the deviation is 10%, and for fiber concrete slabs — 0.4%.

The results obtained in this research work are implemented in the practice of design and operation of buildings, as well as used in the educational process of higher education institutions.

Keywords: road slab, airfield slab, reinforced concrete, fiber concrete, testing, bearing capacity, crack resistance, normal section, inclined section, computer simulation.