

УДК 624.012

Т. І. Приндык, асп.

Т. И. Приндык, асп.

T. Pryndiuk, Post-Graduate

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГРАМИ ДЕФОРМУВАННЯ БЕТОНУ
З РЕМОНТНОЇ СУМІШІ SIKА MONOTOP**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ИЗ РЕМОНТНОЙ
СМЕСИ SIKА MONOTOP**

**RESEARCH OF STRAIN DIAGRAM OF CONCRETE MADE OF REPAIR MIXTURE
SIKA MONOTOP**

Наведено результати дослідження деформування бетону з ремонтної суміші Sika MonoTop, що використовується для відновлення та підсилення залізобетонних елементів, які зазнали руйнувань в процесі експлуатації. З використанням відомих залежностей отримано аналітичне описання деформування бетону.

Приведены результаты исследования деформирования бетона из ремонтной смеси Sika MonoTop, которая используется при восстановлении и усилении железобетонных элементов, разрушенных при эксплуатации. Используя наиболее распространенные зависимости получено аналитическое описание деформирования бетона.

The paper contains the results of research of concrete deformation made of repair mixture Sika Mono Top, used for restoration and strengthening of partly destroyed reinforced concrete elements. Analytical description of concrete deformation using known dependences is obtained.

Вступ

Будівлі та споруди в процесі експлуатації піддаються як силовим, так і несиловим впливам різної інтенсивності. Одночасно відбуваються процеси зношування конструкцій внаслідок впливу природних та виробничих чинників. Через дію цих факторів конструкції зазнають пошкодження. Це зумовлює потребу у відновленні цих конструкцій. У випадку, якщо конструкція має значні пошкодження, тобто знаходиться у непридатному до експлуатації або аварійному технічному стані, роботи з відновлення є обов'язковими. Відновлення експлуатаційних показників залізобетонних конструкцій можна виконати двома шляхами:

- 1) підсилення додатковими матеріалами шляхом збільшення площі перерізу;
- 2) ремонт (санація) шляхом відновлення перерізу спеціальними матеріалами.

Сучасні технології санації бетонних і залізобетонних конструкцій передбачають використання системних матеріалів. В Україні, як правило, такі матеріали використовують для захисту від подальшого руйнування та відновлення естетичного вигляду конструкцій. Проте, як показують дослідження [1], використання таких матеріалів може бути ефективним і для відновлення несучої здатності частково зруйнованих залізобетонних конструкцій. Серед таких матеріалів слід виділити системні матеріали Sika MonoTop фірми «Sika», які мають такі властивості: високу міцність; високу адгезію до поверхні старого бетону; ранній набір високої міцності; достатню живучість готової суміші; можливість нанесення великої товщини шару в одному циклі; легкість приготування. Зокрема, використання цих матеріалів у лабораторних умовах дозволяє повністю відновити несучу здатність залізобетонних конструкцій з різним ступенем руйнування.

Введение

Здания и сооружения в процессе эксплуатации подвергаются как силовым так и несилевым воздействиям разной интенсивности. Одновременно происходят процессы износа конструкций вследствие влияния природных и производственных факторов. Из-за действия этих факторов конструкции подвергаются повреждениям. Это обуславливает потребность в проведении восстановления этих конструкций. В случае значительных повреждений, т. е. когда конструкция находится в непригодном к эксплуатации или аварийном техническом состоянии, работы по восстановлению являются обязательными. Восстановление эксплуатационных показателей железобетонных конструкций можно выполнить двумя путями:

- 1) усиление дополнительными материалами путем увеличения площади сечения;
- 2) ремонт (санация) путем восстановления сечения специальными материалами.

Современные технологии санации бетонных и железобетонных конструкций предусматривают использование системных материалов. В Украине, как правило, такие материалы используют для защиты от дальнейшего разрушения и восстановления эстетичного вида конструкций. Тем не менее, как показывают исследования [1], использование таких материалов может быть эффективным для восстановления несущей способности частично разрушенных железобетонных конструкций. Среди таких материалов следует выделить системные материалы Sika MonoTop фирмы «Sika», со следующими свойствами: высокая прочность; высокая адгезию к поверхности старого бетона; ранний набор высокой прочности; достаточная живучесть готовой смеси; возможность нанесения большой толщины слоя в одном цикле; легкость приготовления. В частности, использование этих материалов в лабораторных условиях позволяет полностью восстановить несущую способность железобетонных конструкций с различной степенью разрушения.

Introduction

Buildings and structures are subjected to impacts of various origin.

At the same time processes of wear due to the influence of various natural and industrial factors take place. As a result of these factors the construction are subjected to deterioration.

As a result the necessity to restore these constructions arises. In case of considerable deterioration, i. e. in case, when the structure is unfit for further usage or is in emergency state, the restoration is obligatory.

Restoration of serviceability of reinforced concrete constructions can be performed in two ways!

- 1) Strengthening by means of increasing of sectional area with additional materials;
- 2) Reconditioning (sanitation) by restoring of sectional area applying special materials.

Modern technologies of sanitation of concrete and reinforced concrete constructions provide the usage of system materials. In Ukraine, as a rule, such materials are used for protection against further deterioration and for restoration of aesthetic appearance of constructions, although, as research show [1], the usage of such materials can be efficient for restoration of load-carrying capacity of partially destructed reinforced concrete constructions. Among the materials used for this purpose we should distinguish system materials Sika Mono Top produced by,, Sika,, company. The characteristic features of these materials comprise: high-strength; high adhesion to the surface of old concrete, rapid attainment of strength; sufficient survivability of obtained mixture; possibility of applying thick layer during a single technological cycle, easiness of preparation. In fact, the usage of such materials in laboratory conditions enables to restore completely load-carrying capacity of reinforced concrete structures with different degree of destruction.

Визначення параметрів діаграми деформування бетону з ремонтної суміші Sika MonoTop 614

Для розрахунку відновлених залізобетонних елементів необхідно знати міцнісні та деформативні характеристики бетону відновлення.

З цією метою у Науково-дослідній лабораторії ефективних будівельних конструкцій Вінницького національного технічного університету були проведені експериментальні дослідження деформування бетону з ремонтної суміші Sika MonoTop 614, яку використовували для відновлення балок в межах попереднього експерименту [1]. Дослідження передбачали випробування бетонних призм розмірами 70×70×280 мм та кубів розмірами 10×10×10 мм. За рекомендаціями виробника у суміш додавали 25 % щебеню фракції 5...10 мм. Випробування бетонних призм для побудови діаграми « σ — ε » виконували з урахуванням рекомендацій [2].

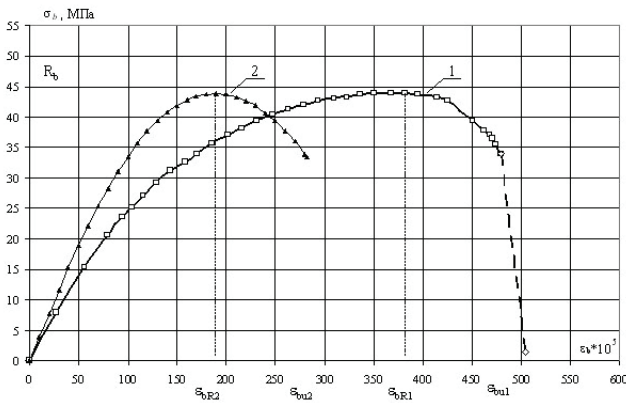


Рис. 1. Середньодослідна діаграма деформування бетону « $\sigma_b-\epsilon_b$ »: 1 — для бетону із суміші Sika MonoTop 614; 2 — звичайного важкого бетону відповідної міцності згідно з [3]

Рис. 1. Среднеопытная диаграмма деформирования бетона « $\sigma_b-\epsilon_b$ »: 1 — для бетона из смеси Sika MonoTop 614; 2 — обычного тяжелого бетона соответствующей прочности согласно [3]

Fig. 1. Average experimental diagram of concrete deformation " $\sigma_b-\epsilon_b$ ": 1 — for concrete made of Sika MonoTop 614 mixture; 2 — conventional heavy concrete of corresponding strength according to [3]

Короточасні випробування дослідних зразків призм дозволили отримати повні діаграми деформування бетону зі спадними та висхідними гілками. На рис. 1 показані середньодослідні діаграми деформування бетону із ремонтної суміші Sika MonoTop 614 (SMT614) та звичайного важкого бетону.

Розглянемо особливості поведінки такого бетону з суміші SMT614 під навантаженням. Для порівняння роботи бетону SMT614 зі звичайним важким бетоном відповідної міцності були використані залежності наведені в [3]. Як видно на рис. 1 бетон SMT614 має дещо пластичніші властивості, що характерно для дрібнозернистих бетонів. Зокрема, модуль деформацій E_b менший на 30 %; деформації ϵ_{bR} , що відповідають напруженням $\sigma_b = R_b$, більші в 2 рази; граничні деформації ϵ_{bu} більші на 70 %, ніж у звичайних важких бетонів. Руйнування таких зразків відрізняється від руйнування зразків зі звичайного бетону своїм характером і динамікою. Під час випробування таких зразків

отримати низхідну вітку вдавалося лише завдяки здійсненню вчасного розвантаження, тобто зниження швидкості деформування. При визначенні параметрів діаграми за граничні відносні деформації (ϵ_{bu}) брали значення, виміряні на етапі, що передувало повному руйнуванню (розколюванню) зразка. Остаточне руйнування таких зразків відбувалося миттєво із звуковим ефектом. Характер руйнування відповідав руйнуванню високоміцних бетонів, тобто розколювання приопорними ділянками (у вигляді пірамід) тіла призми (рис. 2).

Структурне руйнування такого бетону відрізняється від звичайного: ранні тріщини навколо пор не утворюються через наявність в бетоні полімерів, які утворюють міцну оболонку, а також забезпечують високу адгезію цементного каменю і заповнювача; армований на мікрорівні бетон має високу міцність на розтяг, що не дозволяє накопичуватись мікротріщинам.

Середні фізико-механічні характеристики бетону із суміші SMT614 наведено в таблиці.

Параметри бетону із суміші SMT614

Параметры бетона из смеси SMT614

Parameters of concrete made of SMT614 mixture

Назва показника (Название показателя, Index name)	Вік бетону, днів (Возраст бетона, суток; Age of concrete, days)	R (10), МПа (MPa)	$E_b \cdot 10^{-3}$, МПа (MPa)	R_b , МПа (MPa)	$\epsilon_{bR} \cdot 10^5$	$\epsilon_{bu} \cdot 10^5$	β_u
Значення показника (Значение показателя, Index value) \bar{X}	30	57,45	28,6	43,9	382	480	0,77
Коефіцієнт варіації (Кoeffициент вариации, Variation coefficient) v , %		2,55	3,33	4,32	6,32	5,46	6,42

Аналитичне описання діаграми деформування ремонтного бетону

Для використання отриманих результатів у розрахунках відновлених конструкцій необхідно



Рис. 2. Характер руйнування бетонних зразків

Рис. 2. Характер разрушения бетонных образцов

Fig. 2. Character of destruction of concrete samples

взяти аналітичне описання діаграми деформування бетону відновлення. На сьогодні існує декілька підходів щодо математичного описання діаграми стану бетону. Діапазон цих підходів досить широкий – від криволінійних, максимально наближених до дослідних кривих, до кусочно-лінійних, що проходять через основні базові точки.

Діаграма деформування бетону SMT614 дещо відрізняється від типових для важкого бетону. Опишемо діаграму деформування бетону із SMT614, використовуючи залежності, що знайшли найширше застосування

— залежності Карпенка М. І. та ін. [4—5]:

$$\sigma_b = E_b \nu_b \varepsilon_b, \quad (1)$$

де

$$\nu_b = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad a = \nu_{bR}^2 + (0,994 - \omega)\eta^2 (\nu_{b0} - \nu_{bR})^2;$$

$$b = -\left[2\nu_{bR}^3 - \nu_{bR}\omega\eta(\nu_{b0} - \nu_{bR})^2\right], \quad c = -\nu_{bR}^2 (\nu_{b0}^2 - 2\nu_{b0}\nu_{bR});$$

$$\nu_{b0} = \begin{cases} 1, & \text{якщо (если, if) } \eta \leq 1; \\ 2\nu_{bR}, & \text{якщо (если, if) } \eta > 1; \end{cases}$$

$$\omega = \begin{cases} 2 - 1,9\nu_{bR}, & \text{якщо (если, if) } \eta \leq 1; \\ 3,9\nu_{bR} - 0,15, & \text{якщо (если, if) } \eta > 1; \end{cases}$$

$$\nu_{bR} = 1/\gamma, \quad \eta = \varepsilon_b/\varepsilon_{bR}, \quad \gamma = E_b \varepsilon_{bR}/R_b;$$

— залежність у вигляді полінома п'ятого степеня [3]

$$\sigma_b = R_b \sum_{i=1}^{k=5} a_k \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{bR}} \right)^k. \quad (2)$$

де a_k – коефіцієнти, що визначаються через параметри (коэффициенты, определяющиеся через параметры; coefficients determined by means of parameters) $R_b, E_b, \beta = \sigma_{bu}/R_s, \varepsilon_{bR}, \varepsilon_{bu}$. Для бетону із SMT614 коефіцієнти a_k були визначені апроксимацією дослідних даних методом найменших квадратів

$$a_1 = 3,3904, a_2 = -3,1032, a_3 = -3,1119, a_4 = 8,4205, a_5 = -4,8157.$$

Визначені за цими методиками результати показали збіжність з реальною діаграмою.

Определение параметров диаграммы деформирования бетона из ремонтной смеси Sika MonoTop 614

Для расчета восстановленных железобетонных элементов необходимо знать прочностные и деформативные характеристики бетона восстановления.

С этой целью в Научно-исследовательской лаборатории эффективных строительных конструкций Винницкого национального технического университета были проведены экспериментальные исследования деформирования бетона из ремонтной смеси Sika MonoTop 614, которую использовали для восстановления балок в рамках предварительного эксперимента [1]. Исследования предусматривали испытание бетонных призм размерами 70×70×280 мм и кубов размерами 10×10×10 мм. По рекомендациям производителя в смесь добавляли 25 % щебня фракции 5...10 мм. Испытания бетонных призм для построения диаграммы «σ—ε» выполняли с учетом рекомендаций [2].

Кратковременные испытания опытных образцов призм позволили получить полные диаграммы деформирования бетона с нисходящей и восходящей ветвями. На рис. 1 приведены средне-опытные диаграммы деформирования бетона из ремонтной смеси Sika MonoTop 614 (SMT614) и обычного тяжелого бетона.

Рассмотрим особенности поведения такого бетона из смеси SMT614 под нагрузкой.

Для сравнения работы бетона SMT614 с обычным тяжелым бетоном соответствующей проч-

ности были использованы зависимости, приведенные в [3]. Как видно из рис. 1 бетон SMT614 имеет более пластические свойства, которые характерны для мелкозернистых бетонов. В частности модуль деформаций E_b меньше на 30 %; деформации ε_{bR} , которые соответствуют напряжениям $\sigma_b = R_b$, больше в 2 раза; предельные деформации ε_{bu} больше на 70 % чем у обычных тяжелых бетонов. Разрушение таких образцов отличается от разрушений образцов из обычного бетона своим характером и динамикой. Во время испытания таких образцов получить нисходящую ветку удавалось лишь благодаря осуществлению своевременной разгрузки, т. е. снижения скорости деформирования. При определении параметров диаграммы за предельные относительные деформации (ε_{bu}) принимали значения, измеренные на этапе, предшествующему полному разрушению (раскалыванию) образца. Окончательное разрушение таких образцов происходило мгновенно со звуковым эффектом. Характер разрушения соответствовал разрушению высокопрочных бетонов, т. е. раскалывание приопорными участками (в виде пирамид) тела призмы (рис. 2).

Структурное разрушение такого бетона отличается от обычного: ранние трещины вокруг пор не образуются из-за наличия в бетоне полимеров, которые создают прочную оболочку, а также обеспечивают высокую адгезию цементного камня и заполнителя; у армированного на микроуровне бетона высокая прочность на растяжение, что не позволяет накапливаться микротрещинам.

Средние физико-механические характеристики бетона из смеси SMT614 приведены в таблице.

Аналитическое описание диаграммы деформирования ремонтного бетона

Для использования полученных результатов в расчетах восстановленных конструкций необходимо принять аналитическое описание диаграммы деформирования восстанавливающего бетона. На сегодня существует несколько подходов к математическому описанию диаграммы состояния бетона. Диапазон этих подходов достаточно широк — от криволинейных, максимально приближенных к опытным кривым, к кусочно-линейным, которые проходят через основные базовые точки.

Диаграмма деформирования бетона SMT614 немного отличается от типичных для тяжелого бетона. Опишем диаграмму деформирования бетона из SMT614, используя зависимости, которые нашли наиболее широкое применение:

- зависимости Карпенка М. И. и др. [4—5] (1);
- зависимость в виде полинома пятой степени [3] (2).

Для бетона из SMT614 коэффициенты a_k были определены аппроксимацией опытных данных методом наименьших квадратов:

$$a_1 = 3,3904, a_2 = -3,1032, a_3 = -3,1119, a_4 = 8,4205, a_5 = -4,8157.$$

Определенные по этим методикам результаты показали совпадение с реальной диаграммой.

Determination of diagram parameters of concrete deformation of repair mixture Sika Mono Top 614

For computation of restorted reinforced concrete elements it is necessary to know stress and strain characteristics of restoration concrete.

For this purpose research laboratory of efficient building constructions of Vinnytsia National Technical University carried out experiments aimed at study of concrete deformation based on application of Sika Mono Top 614 mixture. The given mixture was used for restoration of beams within the framework of preliminary experiment [1]. The research provided testing of 70×70×280 mm concrete prisms and 10×10×10 mm cubes. In accordance with recommendations of the manufacturer 25 % of rubble of 5—10 mm fraction was added to the mixture. Tests of concrete prisms of construction of "σ—ε" diagram were carried out, taking into account the recommendations [2].

Short-term tests of proof samples allowed to obtain complete diagrams of concrete deformation with descending and ascending branches. Fig. 1 shows diagrams of averaged results of experiments of concrete deformation using Sika Mono Top 614 (SMT614) repair mixture and conventional heavy concrete.

We shall consider the peculiarity of such concrete, made of SMT 614, behavior under loading.

For comparison of work of SMT614 concrete with conventional heavy concrete of corresponding strength dependences given in [3] were applied. As it is seen in Fig. 1 concrete SMT614 has greater plastic properties characteristic for fine-grained concrete. In particular, module of deformations E_b is 30 %, less, deformations ε_{bR} which correspond to stress $\sigma_b = R_b$ are 2 times, limiting deformations ε_{bu} big on 70 % than at usual heavy concrete. Destruction of such samples differs from destruction of samples made of conventional concrete by the character and dynamics. Dur-

ing test of such samples getting a descending branch was possible only due to realization of duly unloading, i. e. reduction in speed of deformation. At definition of the diagram parameters as limiting relative deformations (ε_{bu}) accepted the measured values at a stage that preceded full destruction (splitting) of a sample. Final destruction of such samples occurred instantly accompanied by sound effect. Character of destruction corresponded to destruction of high-strength concrete, i. e. splitting of supporting parts (in the form of pyramids) of prism body (Fig. 2).

Structural disintegration of such concrete differs from conventional one: early cracks around pores are not formed because of presence of polymers in the concrete which create solid shell, and provide high adhesion between cement stone aggregate; the concrete, reinforced on micro-level has high tensile strength that prevents accumulation of microcracks.

Average physical mechanical characteristics of the concrete obtained from the mixture SMT614 are given in Table 1.

Analytical description of the diagram of deformation of restoration concrete

To apply the obtained results in calculations of constructions being restored it is necessary to accept the analytical description of deformation diagram of restoration concrete. Nowadays there are several approaches to mathematical description of concrete state diagram. The range of the approaches is rather wide—from curvilinear, maximally close to testing curves, to piecewise linear, which pass across main basic points.

Diagram of SMT614 concrete deformation differs from diagrams typical for heavy concrete. Let us describe the diagram of SMT614 concrete deformation, using dependences which have been widely used:

- M. I Karpenko's dependences, etc. [4—5] (1);
- dependence in the form of the polynomial in the fifth degree [3] (2).

For concrete made of SMT614 factors a_k were determined by approximation of test data using the method of least squares:

$$a_1 = 3.3904, a_2 = -3.1032, a_3 = -3.1119, a_4 = 8.4205, a_5 = -4.8157.$$

The results determined by means of these techniques have shown coincidence with real diagram.

Висновки

Вперше отримано діаграму деформування бетону із ремонтної суміші Sika MonoTop 614 та визначено при цьому основні деформативні характеристики, які дещо відрізняються від характеристик звичайного важкого бетону.

Отримано аналітичне описання деформування бетону з використанням відомих залежностей.

Отримані в дослідженнях результати дозволять побудувати методики розрахунку несучої здатності залізобетонних конструкцій, відновлених та підсиленних системою Sika MonoTop.

Методика розрахунку буде базуватись на залежностях у вигляді полінома п'ятого степеня, виходячи із зручностей використання їх під час інтегрування рівняння рівноваги розрахункового перерізу, а також у зв'язку з усталеною школою розрахунку залізобетонних конструкцій в Україні, що базується на методиках розроблених в НДІБК.

Выводы

Впервые получена диаграмма деформирования бетона из ремонтной смеси Sika MonoTop 614 и определены при этом основные деформативные характеристики, которые немного отличаются от характеристик обычного тяжелого бетона.

Получено аналитическое описание деформирования бетона с использованием известных зависимостей.

Полученные в исследованиях результаты позволят построить методики расчета несущей способности железобетонных конструкций, восстановленных и усиленных системой Sika MonoTop.

Методика расчета будет базироваться на зависимостях в виде полинома пятой степени, исходя из удобств их использования при интегрировании уравнения равновесия расчетного сечения, а также в связи с сложившейся школой по расчету железобетонных конструкций в Украине, которая базируется на методиках разработанных в НИИСК.

Conclusions

For the first time deformation diagram of concrete made of Sika MonoTop 614 mixture is obtained, main strain characteristics which slightly differ from characteristics of conventional heavy concrete are determined.

Analytical description of concrete deformation, applying most widely used dependences, is obtained.

The results obtained allow to elaborate techniques aimed at calculation of carrying capacity of restored and strengthened by Sika MonoTop system, reinforced concrete constructions.

Technique of calculations will be based on dependences in the form of polynomial of the fifth degree, proceeding from the convenience of their usage while integration of equilibrium equation of reference section and in accordance with the methods used by Ukrainian school of reinforced concrete constructions calculation, based on techniques developed at SRIBC.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Войцехівський О. В., Приндюк Т. І. Відпрацювання найбільш ефективної схеми відновлення залізобетонних балок сучасними ремонтними сумішами // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 11. – Рівне, 2004. — С. 357—360.
2. Методические рекомендации по определению параметров диаграммы « σ - ϵ » бетона при кратковременном сжатии. Бачинский В. Я., Бамбура А. Н., Ватагин С. С., Журавлёва Н. В. — Киев, 1985. — 15 с.
3. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / НИИСК Госстроя СССР. – Киев, 1987. – 25 с.
4. Карпенко Н. И., Мухамедиев Т. А. Диаграммы деформирования бетона для развития методов расчета железобетонных конструкций с учетом режимов нагружения // Сб. Эффективные материалоемкие железобетонные конструкции. – М.: НИИЖБ, 1988. – С. 4—18.
5. Карпенко Н. И., Мухамедиев Т. А., Сапожников М. А. К построению методики расчета стержневых элементов на основе диаграммы деформирования материалов // Сб. Совершенствования методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1987. – С. 4—24.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 7.02.06
Рекомендована до друку 17.02.06

Приндюк Тарас Іванович — аспірант кафедри промислового та цивільного будівництва.

Вінницький національний технічний університет

Приндюк Тарас Іванович — аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства.

Винницкий национальный технический университет

Taras Pryndiuk — Post-graduate student of Chair of Industrial and Civil Engineering.

Vinnitsia National Technical University