

МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПОНОК ПРИ ПІДСИЛЕННІ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Запропоновано інженерний метод розрахунку міцності шпонкових з'єднань при підсиленні залізобетонних згинальних елементів, що базується на варіаційному методі теорії пластичності бетону.

Ключові слова: підсилення, шпонка, варіаційний метод, теорія пластичності бетону.

Постановка проблеми в загальному вигляді. При підсиленні згинальних залізобетонних будівельних конструкцій шляхом збільшення робочого перерізу елемента важливим моментом є забезпечення зчеплення між шарами «старого» і «нового» бетону. Несуча здатність збірно-монолітної конструкції залежить від міцності контактної шва, від виду контакту та ступеня його обробки. На практиці при бетонуванні зчеплення досягається шляхом ретельної підготовки поверхні, що є досить трудомістким процесом, а саме створення штучної шорсткості контактної поверхні у вигляді рифлення, виступів, випусків арматури, обробка контакту (очищення, піскоструминна обробка, хімічна обробка) і т.п. Варто зазначити, що перераховані заходи не завжди забезпечують достатнє зчеплення «старого» і «нового» бетону.

Відомий спосіб підсилення залізобетонних плит перекриття, при якому сумісна робота шарів «старого» і «нового» бетону забезпечується за рахунок залізобетонних шпонок, що утворюються внаслідок бетонування заздалегідь пробитих отворів у плитах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Дослідженням роботи окремих шпонок присвячено праці ряду авторів: Г.І. Ашкінадзе, П.М. Бобришева, В.О. Бондарева, І.Л. Герасимової, Е. Горачека, О.О. Довженко, В.С. Єськова, В.Г. Кваші, П.М. Ковалю, В.І. Коноводченка, М.М. Коровіна, В.І. Лишака, Н.Г. Мартинової, В.В. Погрібного, С.В. Полякова, М. Поммере, Д. Пуме, І.О. Рохліна, О.В. Черкашина, О.В. Яшина, та інших. Відповідно до експериментальних даних на міцність шпонок впливає низка факторів, зокрема геометричні розміри та їх співвідношення, форма шпонкового профілю (кут нахилу опорних поверхонь), характеристики міцності бетону, наявність армування й обтиснення (розтягу). Дослідники запропонували близько 30 залежностей для визначення граничного навантаження, які мають вузьку сферу застосування, є частковими та обмежені умовами конкретного експерименту.

Виділення не розв'язаної раніше частини загальної проблеми. Діюча нормативна методика розрахунку шпонкових стиків [6, 12] не враховує всіх визначальних факторів міцності, а запропоновані дослідниками залежності для визначення міцності шпонок носять, як правило, емпіричний характер.

Мета статті. Існуючий стан розрахунку не дозволяє оптимізувати конструктивні рішення шпонкових стиків, тому вдосконалення методики розрахунку міцності зазначених стиків є актуальним завданням.

Основний матеріал і результати.

Варіаційний метод теорії пластичності бетону [9], розроблений у ПолтНТУ, можна віднести до інженерних методів розрахунку, що приводять до простих залежностей, не потребують залучення складних комп'ютерних програм і можуть знайти широке використання в практиці проектування. У запропонованій методиці метою є визначення граничного навантаження, а деформації не мають визначального значення. У

таких випадках є доцільним застосування більш простих моделей, які дозволяють успішно досягти поставленої мети [1, 10, 11, 15].

Міцність окремих шпонок. Розв'язання задачі міцності окремої залізобетонної шпонки виконується у такій послідовності. Використовується кінематично можлива схема руйнування зразка (рис. 2), що включає два диски. Диск I переміщується відносно диска II зі швидкістю $V(V_x, V_y)$. Диски розмежовані поверхнею руйнування ABC (поверхнею розриву швидкостей). На площадці BC діють граничні нормальні σ_u та дотичні τ_u напруження, які визначаються згідно з умовою міцності бетону Баландіна–Генієва [3]. Площадку AB вважаємо за головну з напруженнями розтягу $\sigma_u = R_{bt}$.

Невідомими цієї задачі є граничне навантаження q_u , кут нахилу α площадки AB до вертикалі, кут нахилу β площадки BC до вертикалі, відношення швидкостей $k = V_x / V_y$ (при розв'язанні оперуємо відносними швидкостями, а не їх абсолютними значеннями).

Знаходяться розриви (стрибки) нормальної ΔV_n і дотичної ΔV_t складових швидкості на поверхні руйнування.

Функціонал методу для плоского напруженого стану записується у вигляді

$$I_l = m \left[2B \sqrt{1 + 0,25 \left(\frac{V_x \sin \beta + V_y \cos \beta}{V_y \sin \beta - V_x \cos \beta} \right)^2} - 1 \right] \times (V_y \sin \beta - V_x \cos \beta) \times$$

$$\times \frac{h_k \operatorname{tg} \alpha}{(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) \cos \beta} + R_{bt} (V_x \cos \alpha + V_y \sin \alpha) \times \frac{h_k \operatorname{tg} \beta}{(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) \cos \alpha} - q_u l_k V_y = 0, \quad (1)$$

де $m = R_b - R_{bt}$; $B^2 = (1 + \chi / (1 - \chi)^2) / 3$, $\chi = R_{bt} / R_b$.

Знаходимо граничне навантаження q_u , виражене через невідомі параметри,

$$q_u = \left(m \left[2B \sqrt{(\operatorname{tg} \beta - k)^2 + 0,25 (k \operatorname{tg} \beta + 1)^2} - (\operatorname{tg} \beta - k) \right] \times \frac{h_k \operatorname{tg} \alpha}{(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)} + \right.$$

$$\left. R_{bt} (k + \operatorname{tg} \alpha) \times \frac{h_k \operatorname{tg} \beta}{(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)} + R_s A_s k \right) \times$$

$$\times \frac{1}{\gamma h_k (\cos \theta - k \sin \theta)}. \quad (2)$$

Значення граничного навантаження отримується шляхом пошуку умовного мінімуму (2).

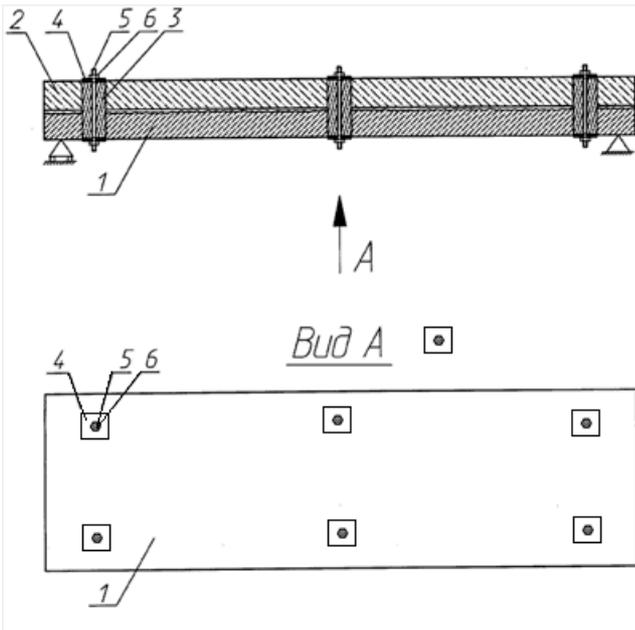


Рисунок 1 – Підсилення залізобетонної плити збільшенням перерізу:
 1 – плита, що підсилюється; 2 – монолітний бетон; 3 – залізобетонна шпонка;
 4 – металева шайба; 5 – металева шпилька;
 6 – гайка

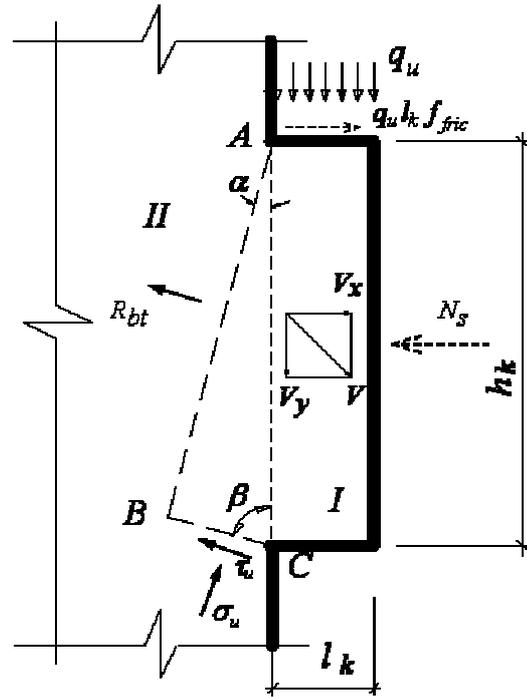


Рисунок 2 – Кінематична схема руйнування шпонки

Додатковою умовою при пошуках $q_u \rightarrow \min$ приймаємо умову рівноваги – рівності нулю суми моментів усіх зовнішніх та внутрішніх зусиль відносно осі, яка проходить через точку В, $\sum M_B = 0$.

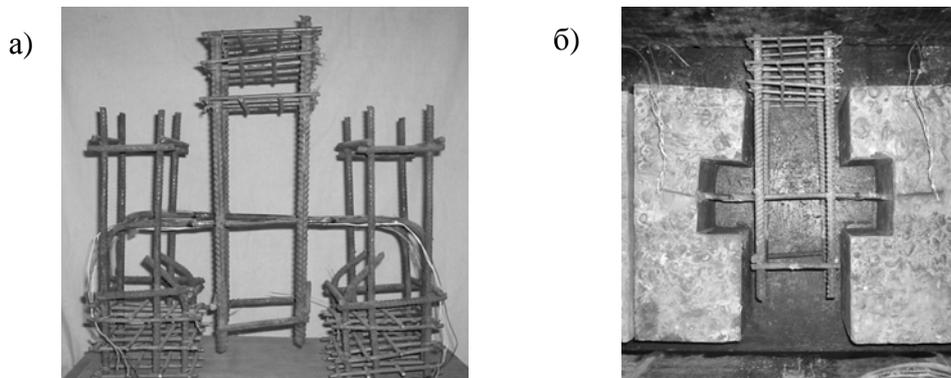


Рисунок 3 – Конструкція дослідних зразків:

а) каркас дослідних зразків; б) зразок у процесі виготовлення

Проведення експериментальних досліджень. Було виготовлено 4 зразки шпонкових стиків (табл. 1). Виготовлення зразків здійснювалося у два етапи з бетону двох різних класів. На першому етапі бетонувалися бокові частини стику бетоном більш високого класу з метою запобігання їхньому руйнуванню під час випробувань.

Перед бетонуванням центральної частини горизонтальні поверхні стикування зразків з індексами «а» і «в» змащувалися солідолом для ліквідації зчеплення «старого» бетону з «новим» та забезпечення сприйняття навантаження лише шпонками. У площині зрізу шпонки всіх зразків армувалися поперечними стрижнями $2 \text{ } \varnothing 8 \text{ A1}$.

Міцність дослідних зразків

Шифр зразка	Геометричні параметри зразків	R_b , МПа	R_{bb} , МПа	A_{sh} , см ²	Граничне навантаження Q_u , кН	$R_{sh}^{test} = Q_u / A_{sh}$, МПа
ШС-1-1		16,8	1,45	2×151	165	5,46
ШС-1-1a				2×148	140	4,72
ШС-1-1б		15,7	1,28	2×150	140	4,67
ШС-1-1в				2×154	135	4,38

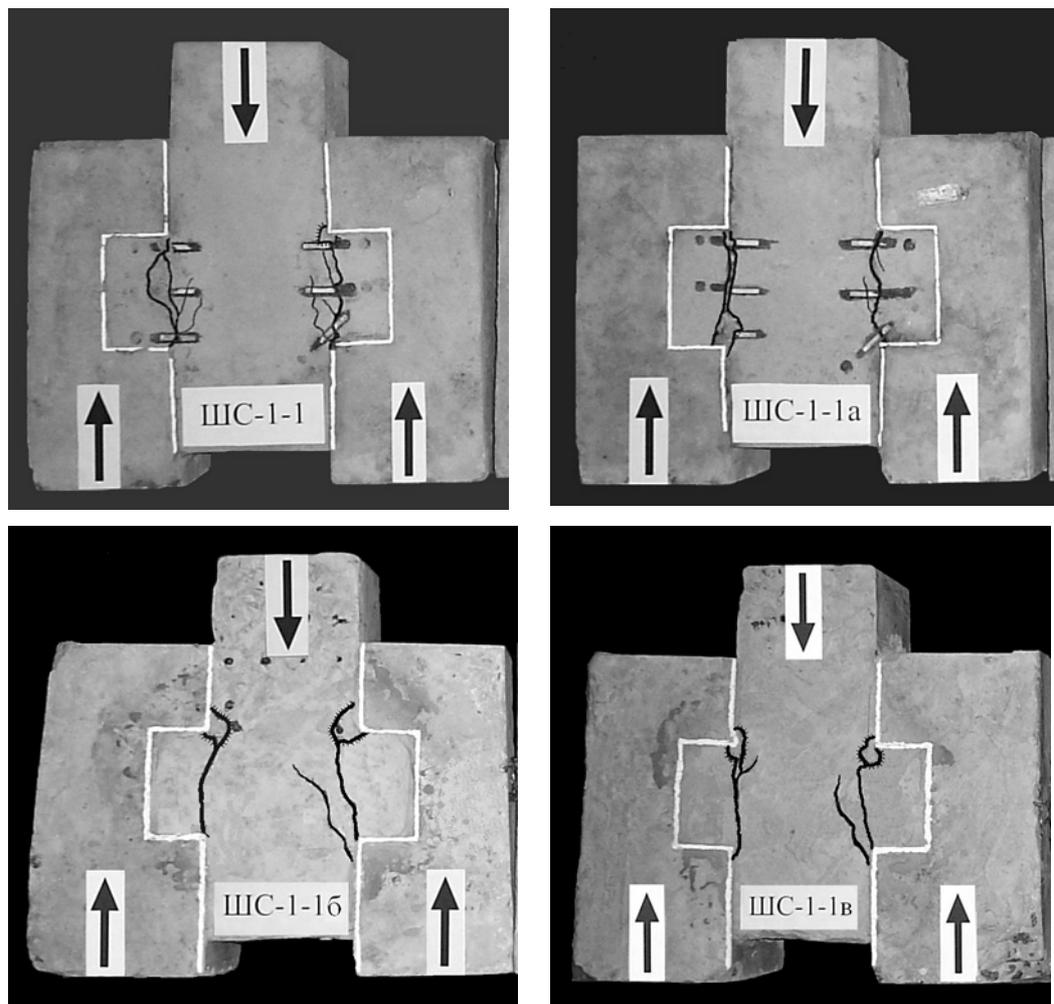


Рисунок 4 – Характер руйнування зразків

Порівняння теоретичної міцності шпонок з результатами дослідів. На рис. 5 наведені результати порівняння теоретичної та дослідної міцності. Загалом для 68 зразків отримано такі статистичні дані: середнє арифметичне $\bar{x} = R_k^{test} / R_k^{calc} = 1,041$, середнє квадратичне $\sigma_{n-1} = 0,128$, коефіцієнт варіації $\nu = 12,3\%$.

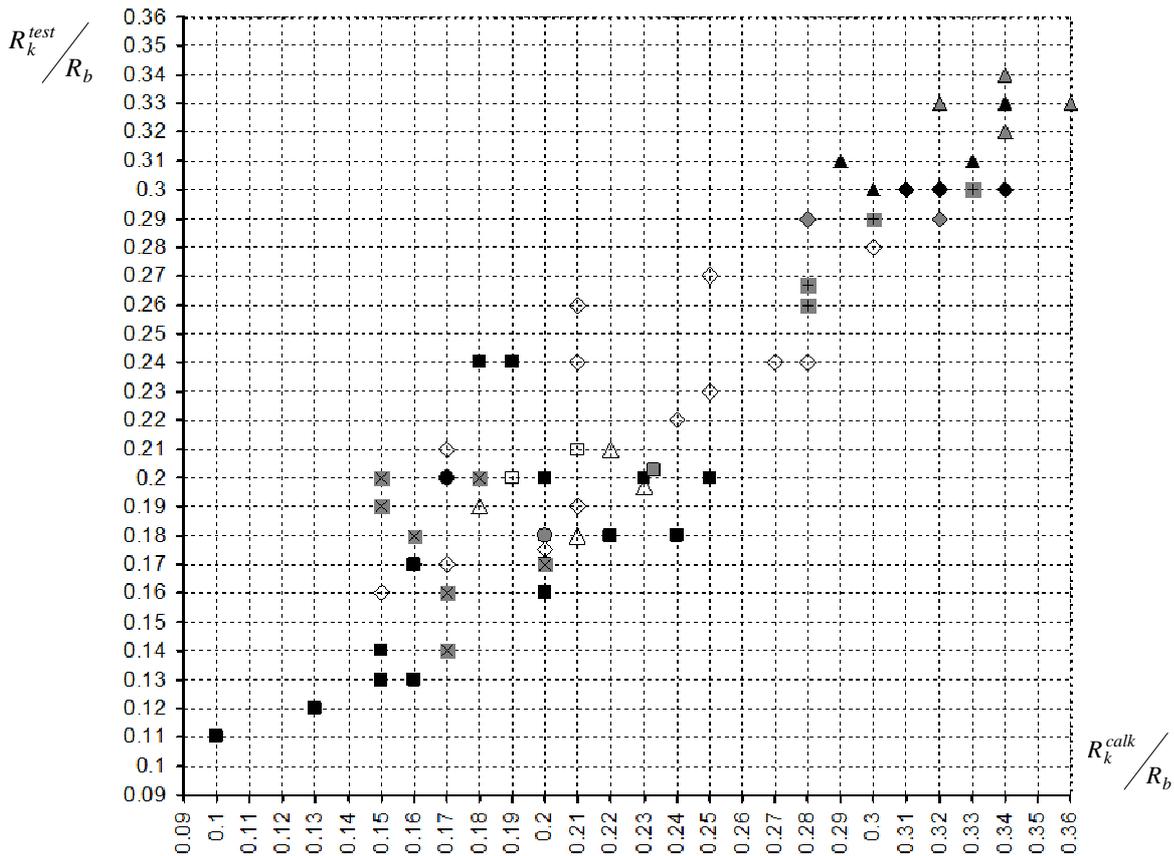


Рисунок 5 – Порівняння теоретичної відносної міцності шпонок з дослідною для: прямокутних бетонних: ■ – робота [0]; трапецієподібних бетонних: ● – робота [0], ○ – робота [0]; трикутних бетонних: Δ – робота [0]; прямокутних залізобетонних: □ – робота [0], ◻ – робота [0], × – робота [0]; + – [автор]; трапецієподібних залізобетонних: ◆ – робота [0], ◇ – робота [0], ◊ – робота [0], ▲ – [автор]; трикутних залізобетонних: ▴ – [автор].

Одержані результати свідчать про близькість теоретичної міцності до експериментальної в широких межах зміни визначальних факторів. Виконані дослідження дозволяють отримати такі **висновки**:

1. На основі варіаційного методу теорії пластичності розв'язано задачу міцності для залізобетонної шпонки з урахуванням форми шпонкового профілю.
2. Запропонований метод розрахунку дозволяє враховувати армування, обидві характеристики міцності бетону R_b і R_{bt} , а також граничні умови на опорних поверхнях (наприклад, наявність чи відсутність сил тертя).
3. Теоретична міцність шпонок добре погоджується з дослідною.

Література

1. Бобришев, П.Н. Влияние количества шпоночных связей на несущую способность образцов при сдвиге / П.Н. Бобришев // Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений: труды института. – М.: ЦНИИСК, 1970. – Вып. 14. – С. 148 – 154.
2. Бобришев, П.Н. Прочность и деформации замоноличенных стыков силикатобетонных панелей при сдвиге / П.Н. Бобришев, А.В. Черкашин, В.И. Коноводченко // Прочность крупнопанельных и каменных конструкций. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 149 – 162.
3. Гениев, Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.

4. Довженко, О.О. Міцність бетонних та залізобетонних елементів при місцевому прикладанні стискуючого навантаження: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О.О. Довженко. Полтав. ІСИ – Полтава, 1993. – 20 с.
5. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследование и основы проектирования. Совм. изд. СССР – Греция / Г.И. Ашкинадзе, М.Е. Соколова, Л.Д. Мартынова и др., под ред. Г.И. Ашкинадзе и М.Е. Соколова. – М.: Стройиздат, 1988. – 504 с.
6. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий. ВСН 72 – 77. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с.
7. Кваша, В.Г. Ефективні конструктивно-технологічні рішення поширення і посилення автодорожних мостів залізобетонною накладною плитою / В.Г. Кваша, П.М. Коваль, Ю.М. Собко // Проблеми теорії та практики будівництва: зб. наук. праць. – Полтава. – 1994. – С. 119 – 130.
8. Коровин, Н.Н. Экспериментальное исследование шпоночных сопряжений ригелей с колонной / Н.Н. Коровин, В.С. Еськов // Бетон и железобетон. – 1965. – №3. – С. 40 – 43.
9. Митрофанов, В.П. Вариационный метод в теории идеальной пластичности бетона / В.П. Митрофанов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – №6. – С. 23 – 28.
10. Митрофанов, В.П. Напряженно-деформированное состояние, прочность и трещинообразование железобетонных элементов при поперечном изгибе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.П. Митрофанов; ВЗИСИ. – М., 1982. – 41 с.
11. Погребной, В.В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Полтавский гос. технический ун-т им. Юрия Кондратюка. – Полтава, 2000. – 236 с.
12. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
13. Шахнович, Ю.Г. Исследование сейсмостойких сооружений и конструкций / Ю.Г. Шахнович, А.К. Джалаири, И.Ф. Жансеитова // Труды КПСНИИП. – Алма-Ата. – 1981. – Вып. 12. – С. 81 – 87.
14. Araujo, D. L. Strength of shear connection in composite bridges with precast decks using high performance concrete and shear-keys / D. L. Araujo, M. K. El Debs // Materials and Structures. March 2005. – Vol 38., P. 173 – 181.
15. Nielsen, M.P., Limit analysis and concrete plasticity / M.P. Nielsen // 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1998, 906 p.
16. Sami, Hanna Megally. Seismic response of sacrificial shear keys in bridge abutments / Hanna Megally Sami, F. Silva Pedro, Seible Frieder // Report No. SSRR-2001/23, Department of Structural Engineering University of California, San Diego La Jolla, California, May 2002, 198 p.

В.Н. Рожко, к.т.н., доц.

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПОНОК ПРИ УСИЛЕНИИ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Предложен инженерный метод расчёта прочности шпоночных соединений при усилении железобетонных изгибаемых элементов, основанный на вариационном методе теории пластичности бетона.

Ключевые слова: *усиление, шпонка, вариационный метод, теория пластичности бетона.*

*V.N. Rozhko, Ph.D., senior lecturer
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE KEYS BY STRENGTHENING OF BENDING ELEMENTS

This article proposed engineering method of estimate strength of reinforced concrete keys by strengthening of bending elements. This method is based on variable method of the theory of plasticity of concrete.

Keywords: *strengthening, key, variable method, theory of plasticity of concrete.*

Надійшла до редакції 25.09.2012

© В.Н. Рожко