

Подставляем уравнения (2) и (4) в (8), получаем

$$W_x = \frac{h_w^2}{33} \sqrt{\frac{R_y}{E}} + h_w b_f^2 \sqrt{\frac{R_y}{E}}. \quad (9)$$

Таким образом, из всего множества возможных решений (сочетание размеров h_w и b_f) необходимо выбрать такое сочетание, при котором W_x будет максимальным.

Выражая b_f^2 из уравнения (6) и подставляя значение в (9), получаем уравнение зависимости сопротивления W_x от высоты

$$W_x = \frac{h_w}{2} - \frac{2h_w^3}{33} \sqrt{\frac{R_y}{E}}. \quad (10)$$

Построим график зависимости момента сопротивления W_x от h_w на участке $0 \leq h_w \leq 12,69$ (рис. 2).

Для определения максимума функции $f=W_x$, берем первую производную, приравняем ее к нулю и определяем значение h_w , при котором $f=W_x$ имеет максимальное значение. Получаем значение $h_w \approx 9$. При этом момент сопротивления $W_x = 3$.

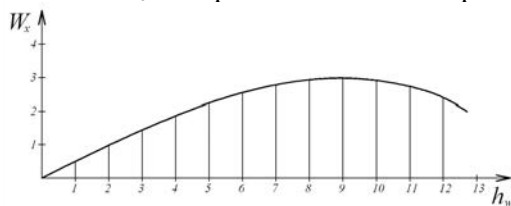


Рис. 2 График зависимости момента сопротивления W_x от высоты сечения h_w при единичной площади

Данный результат можно было получить при решении системы уравнений (6) и (10) графическим методом.

При этом значение b_f , согласно графика 1 (рис. 1), составляет 2,74, а оптимальное отношение h_w/b_f , при котором момент сопротивления W_x имеет максимальное значение $h_w/b_f = 3,28$.

Данные закономерности относятся к моностальным двутавровым балкам постоянного по высоте сечения, для изготовления которых используется листовая сталь. При этом не учитывалось влияние пластических деформаций, что допускается нормами [5].

Выводы. Нормы проектирования регламентируют требования прочности, устойчивости и деформативности при проектировании стальных конструкций. При этом возникает множество решений, из которых в процессе вариантного проектирования необходимо выбрать наиболее оптимальное (экономически выгодное). В результате исследования моностальных двутавровых балок установлено, что наиболее оптимальными по расходу стали есть балки, у которых отношение h_w/b_f находится в пределах 3,28.

Список литературы

1. Лихтарников Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с.
2. Трофимович В. В., Пермяков В. А. Оптимизация металлических конструкций, К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 200 с.
3. Трофимович В. В., Пермяков В. А. Оптимальное проектирование металлических конструкций, К.: Будівельник, 1981. – 136 с.
4. Каплун Я. А. Оптимизация сортамента прокатных профилей: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук, М., 1971.
5. СНиП II-23-81* Нормы проектирования. Стальные конструкции/ Госстрой СССР. – М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
6. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. Общая часть. (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. заслуж. строителя РФ, лауреата госуд. Премии СССР В. В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н. П. Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1998. – 576 стр.

Рукопись поступила в редакцию 31.03.12

УДК 622.1: 528.7

О.В. ДОЛГІХ, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ДЕННОЇ ПОВЕРХНІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБМЕЖЕНОЇ КІЛЬКОСТІ ЦИКЛІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Розглянуто питання вдосконалення методики дослідження територій, що знаходяться у зонах впливу підземних гірничих робіт, з метою підвищення якості прогнозування подальшого їх стану. Пропонується для опрацювання результатів вимірів, здійснених на реперах профільних ліній спостережних станцій, використовувати сучасні статистичні методи та програмні засоби.

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами. У результаті розробки корисної копалини підземним способом, на денній поверхні утворюється певна кількість зон осідання та обвалів. Такі ділянки часто небезпечні для перебування на них людей та споруд і тому вони повинні досліджуватися з метою отримання характеристики їх стану та динаміки розвитку негативних явищ. Для вирішення задач виробництва необхідне наукове та практичне підтвердження можливості безпечного виконання робіт та використання територій, надра яких відпрацьовуються, тобто необхідне точне прогнозування подальшого розвитку.

Аналіз досліджень та публікацій. Над науковою задачею розробки методів прогнозування стану денної поверхні у межах гірничого відводу при підземній розробці корисної копалини працюють вітчизняні та зарубіжні вчені. З впровадженням у виробництво сучасних програмних засобів та математичних методів [1-6] опрацювання результатів вимірів з'явилася можливість отримувати більш точне прогнозування стану об'єкта дослідження.

Постановка задачі. Важливою складовою забезпечення безаварійної експлуатації шахт є регулярні спостереження за положенням реперів профільних ліній спостережних станцій. За результатами визначаються фактичні величини вертикальних та горизонтальних деформацій, таких як розтяг-стиск, осідання, швидкість тощо. За отриманими величинами фактичних деформацій реперів за певний проміжок часу робиться висновок про безпеку чи небезпеку знаходження на даній території людей, споруд, будівель тощо. Також визначаються величини збільшення чи зменшення швидкості осідання та інші параметри.

Сучасні методи дослідження територій можливих обвалів та провалів засновані на використанні величин деформацій, визначених за вимірами на той чи інший період часу. З практики відомі приклади, коли при багаторічних вимірах деформацій реперів по профільних лініях, спостерігалася стабільність їх положення, а потім в один момент на місцях розташування реперів утворювалися провали, репери провалюються на декілька метрів. Яскравим прикладом такої ситуації є випадок провалля у 2010 році на території шахти ім. Орджонікідзе.

Спрогнозувати такі явища лінією тренду, яка будується, наприклад, в Microsoft Excel, навіть при широкому виборі методів, що дає ця програма, неможливо. Таке обвалення масиву не можна описати стандартними лінійними методами прогнозування.

Викладення матеріалу та результати. Обвалення масиву та вихід воронки можна порівняти з крахом на фондових ринках: позитивна тенденція може спостерігатись кілька десятків років поспіль, нічого не передвіщаючи негативного. При цьому ростуть котирування акцій, спостерігається стабільне зростання, але інколи де інде трапляються неочікувані події, на які ніхто не зважає, а в кінці кінців трапляється крах фондових ринків і як результат – велика криза, результати якої при коректному прогнозуванні можна було б мінімізувати.

В економіці для прогнозування таких явищ застосовується декілька математичних теорій, одна з яких – це нейронне програмування. Те що не використовуються нейронні мережі в маркшейдерській справі, можна пояснити складністю навчання нейронних мереж і необхідністю цього навчання для кожної задачі окремо через специфічність вихідних даних.

Моделювання нейронних мереж в маркшейдерській справі є більш складним ніж в економіці. Складність моделі полягає у складності геомеханічної моделі родовища, що розробляється підземним або сумісним способами, з його геологічною неоднорідністю й різноманітністю сил, що діють на гірський масив. Але при цій неоднорідності й різноманітності факторів не завжди можна добути достатньо інформації для моделювання в нейронних мережах. Наприклад, дані спостережень по осіданню реперів можна відновити за 25-30 років, але за цей період таких циклів спостережень буде від 30 до 100. Якщо порівняти з об'ємом інформації, який доступний за подібний період по котируваннях акцій або колюванню валют, то ця цифра може бути від 54750, тобто мінімум в 1800 разів більше. Тому однією із самих важливих і складних проблем при нейронному моделюванні є представлення і трансформація маркшейдерської інформації.

За деформаціями реперів профільних ліній, які закладені кілька десятиліть тому, і для яких є вже значна кількість циклів спостережень, можна зробити прогноз, наприклад в Microsoft Excel (про недоліки цього прогнозування зазначено вище). Для нових профільних ліній точний прогноз зробити неможливо, точність такого прогнозування буде низка. Прикладом можна вважати профільні лінії спостережної станції, закладеної на території шахти ім. Орджонікідзе спеціалістами ДВНЗ «Криворізький національний університет» після аварії у 2010 р., на якій проведено 4 серії спостережень.

Некоректність такого прогнозу продемонстровано на рис. 1 та 2. За даними 4 циклів спостережень показано прогноз відповідно на наступний цикл спостережень (рис. 1) та на наступні п'ять циклів (рис. 1).

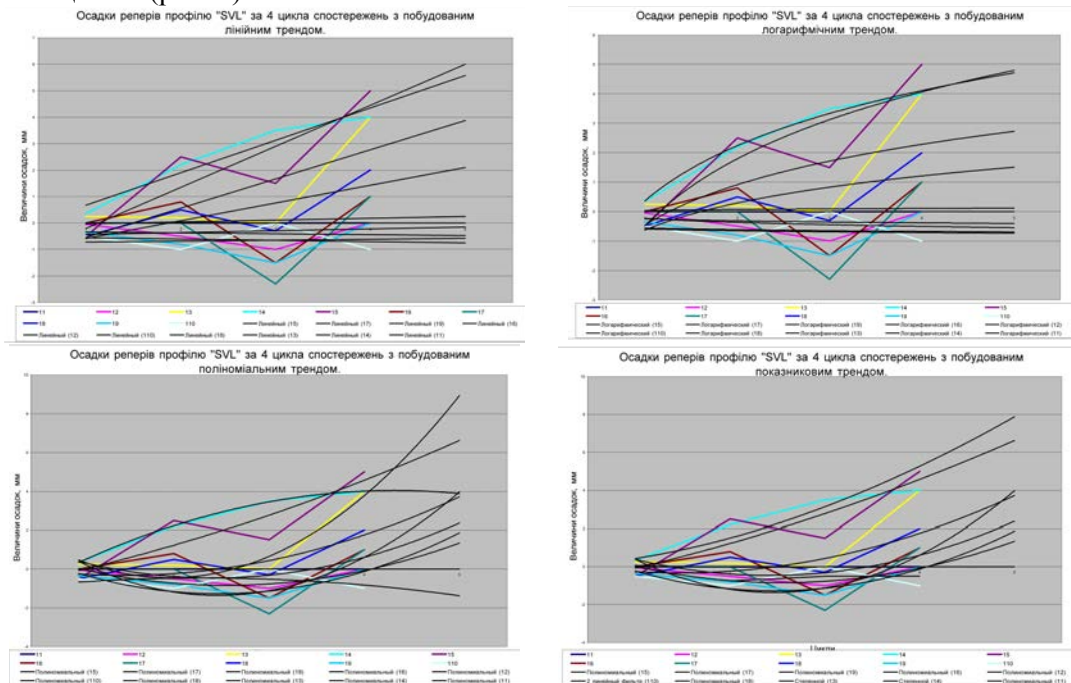


Рис. 1. Осадки реперів з побудовою ліній тренду з прогнозом на наступний цикл спостережень

Некоректність такого прогнозу продемонстровано на рис. 1. Отже згідно до показникового тренду вже через 5 циклів (2,5 роки) 90 % всіх реперів зазнають деформацій, які будуть перевищувати «значення осадок, які характеризують зону впливу підземних гірничих робіт». Для поліноміального тренду значення 75 % всіх реперів зазнають таких деформацій.

Лінійні і логарифмічні тренди демонструють більш логічні данні, але теж не відповідають дійсності.

Очевидно, що проблема знаходиться у малій кількості спостережень, на основі яких здійснюється прогнозування. Отже, чому не підходить для прогнозування стану реперів метод з використанням Microsoft Excel?

Для того, щоб відповісти на це питання необхідно розглянути теоретичні аспекти побудови тренду в Microsoft Excel. Побудова тренду це спосіб обчислення наближених значень функцій за відомими їх значеннями у деяких фіксованих точках.

Якщо для моделювання деякого процесу, заданого таблицею, побудувати функцію, яка приблизно описує даний процес на основі методу найменших квадратів, вона буде називатися апроксимуючою функцією (регресією).

В Microsoft Excel для побудови регресії є два способи: перший - побудова лінії тренду на основі діаграми чи графіка; другий - використання вбудованих статистичних функцій, які дозволяють одержувати регресії (лінії тренду) безпосередньо на основі таблиці вихідних даних, при цьому немає потреби у складанні діаграми чи графіка. Microsoft Excel є досить професійним інструментом, який дозволяє не тільки побудувати діаграму різними методами, а й має додаткові функції, такі як: додавання до діаграми рівняння побудованої регресії; визначення ступеню відповідності обраної регресії відображуваним на діаграмі даним (величина достовірності апроксимації).

На основі даних діаграми Excel дозволяє одержувати лінійний, поліноміальний, логарифмічний, показниковий та експонентний тип регресії.

Лінійна регресія ефективна при моделюванні характеристик, значення яких збільшуються або убують із постійною швидкістю.

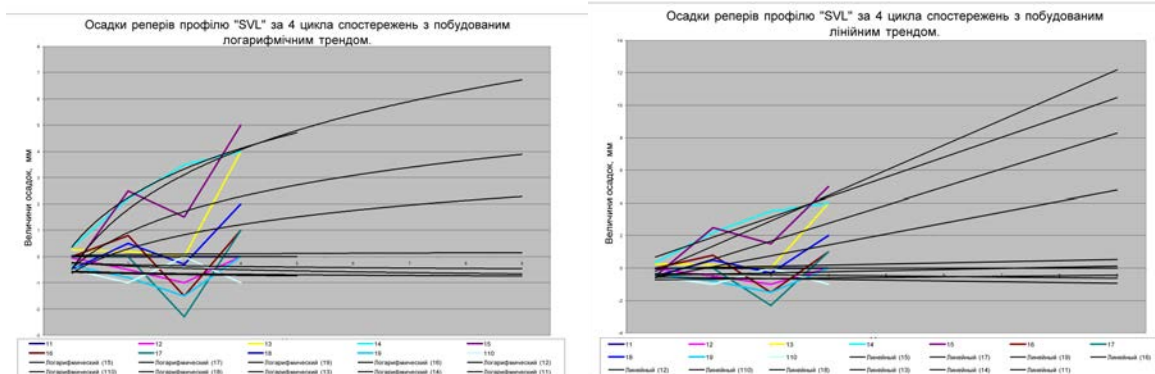


Рис. 2. Осадки реперів з побудовою ліній тренду з прогнозом на п'ять наступних циклів спостережень

Вона будується відповідно до рівняння

$$y = mx + b, \quad (1)$$

де m - тангенс кута нахилу лінійної регресії до осі абсцис; b - координата точки перетину лінійної регресії з віссю ординат.

Поліноміальна лінія тренду корисна для характеристик, що мають хоч якось виражений екстремум. Вибір ступеню поліному визначається кількістю екстремумів досліджуваної характеристики: поліном другого ступеня може добре описувати процес, який має тільки один екстремум; поліном третього ступеня - не більш двох екстремумів тощо. Лінія тренду будується відповідно до рівняння

$$y = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + c_4x^4 + c_5x^5 + c_6x^6, \quad (2)$$

де коефіцієнти $c_0, c_1, c_2, \dots, c_6$ - константи, значення яких визначаються в ході побудови.

Логарифмічна лінія тренду добре описує моделі, характеристики яких спочатку швидко змінюються, а потім поступово стабілізуються. Лінія тренду будується відповідно до рівняння

$$y = c \ln(x) + b, \quad (3)$$

де коефіцієнти b, c - константи.

Показникова лінія тренду застосовується, якщо значення досліджуваної залежності характеризуються постійною зміною швидкості (зростання чи зменшення). Лінія тренда будується відповідно до рівняння:

$$y = cbx, \quad (4)$$

де коефіцієнти b, c - константи.

Експонентний тренд використовувати тоді, коли швидкість зміни даних безупинно зростає або зменшується.

Лінія тренда будується відповідно до рівняння

$$y = cebx, \quad (5)$$

де коефіцієнти b, c - константи.

Оцінка надійності побудованого тренду виконується на основі критерію R^2 (величина достовірності апроксимації), який визначається за формулою

$$R^2 = 1 - (\Sigma_1 / \Sigma_2), \quad (6)$$

де $\Sigma_1 = \Sigma_j (y_j - Y_j)^2$;

$$\Sigma_2 = \Sigma_j Y_j^2 - \frac{1}{n} \left(\Sigma_j Y_j \right)^2.$$

Як видно з табл. 1 і графіка (рис. 3), для профільної лінії SVL найбільш надійним (близькість значень до 1) є тренд, побудований методом поліномів 2 і 3 ступенів. Але це лише значення «за внутрішньою збіжністю». І як зазначалося вище, згідно з таким прогнозом, вже через 5 циклів (2,5 роки) від 75 % до 90 % реперів зазнають деформацій, що перевишуватимуть «значення осадок, які характеризують зону впливу підземних гірничих робіт», що для даного профілю, згідно з його розташуванням маловірогідне.

Таблиця величин достовірності апроксимації величин осідань реперів профільної лінії SVL

Номери реперів	Лінійний тренд	Логарифмічний тренд	Поліноміальний тренд 2 ступеню	Поліноміальний тренд 3 ступеню
1	2	3	4	5
1	0,0094	0,0646	0,8157	0,9157
2	0,5475	0,3817	0,9152	-
3	0,9424	0,9948	0,9996	0,9278
4	0,7657	0,7447	0,7697	0,7697
5	0,0063	0,0007	0,1931	0,1931
6	0,0042	0,0018	0,4682	0,4682
7	0,5803	0,4938	0,6896	0,6896
8	0,0049	0,0069	0,7612	0,7612
9	0,0182	0,0116	0,1091	-

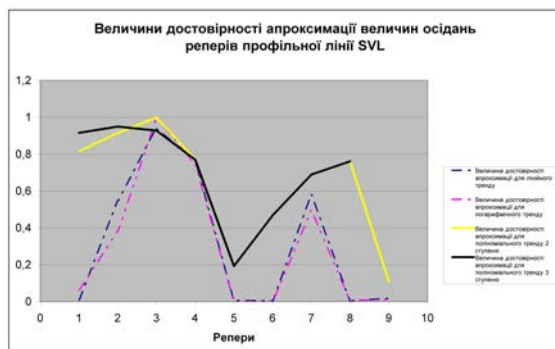


Рис. 3. Величини достовірності апроксимації величин осідань реперів профільної лінії SVL

Отже, який з трендів необхідно використовувати при прогнозуванні деформацій денної поверхні на основі спостережень за деформаціями реперів профільних ліній? Відповідь очевидна: на різних профілях необхідно застосовувати різні види трендів. Але бувають профілі, на яких спочатку деформації близькі до лінійного закону, потім - до поліноміального, а надалі - експонентного. Отже, необхідна система побудови тренду не так сильно прив'язана до певних моделей.

Такою системою, яка позиціонується як «model free» - вільною від моделей і є нейронні мережі (рис.4,5).



Рис. 4. Осадки реперів профілю "SVL" за 4 цикли спостережень з прогнозом на 1 цикл методом нейронних мереж



Рис. 5. Осадки реперів профілю "SVL" за 4 цикли спостережень з прогнозом на 1 цикл методом нейронних мереж з відображенням значень осадок, які характеризують зону впливу підземних гірничих робіт

Висновки та напрям подальших досліджень. Відомо, що проблема отримання найбільш точного прогнозу стану земної поверхні, яка знаходиться над гірничими виробками, може бути вирішена тільки з врахуванням усіх факторів, які на неї діють. На сьогодні, з появою комп'ютерів з великим об'ємом пам'яті та високою швидкістю, є можливість математично більш точно описати цей складний процес та змодельовати подальший стан об'єкту.

Список літератури

1. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / Под общ. ред. В.Б. Новосельцева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с
2. Борисов В.В., Круглов В.В., Федюлов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
3. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. (+CD) – СПб. Питер, 2003. – 688 с.
4. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.:

ДИАЛОГ–МИФИ, 2002. – 496 с. – (Пакеты прикладных программ; Кн. 4).

5. Нейронные сети. STATISTJCA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / Под редакцией В. П. Боровикова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с., ил.

6. **Осовский С.** Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского **И.Д. Рудинского**. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

Рукопись постуила в редакцию 31.03.12

УДК 624.046.2

О.І. ВАЛОВОЙ, О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, кандидати техн. наук, доц., М.О. ВАЛОВОЙ, асистент ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МІЦНІСТЬ ТА ЖОРСТКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗГІНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ПОРУШЕННЯМ ЗЧЕПЛЕННЯМ АРМАТУРИ ТА БЕТОНУ

Наведено експериментальна теорія розрахунку згинальних елементів з порушенням зчепленням арматури та бетону. На підставі результатів випробувань дослідних балок проведено апробацію відповідності цієї теорії. Приведено аналіз залежності ступеню порушення зони зчеплення та її довжини на експлуатаційні характеристики дослідних балок.

Ключові слова: Бетон, арматура, зчеплення, тріщиноутворення, міцність, балка.

На теперішній час у зв'язку зі зростаючими обсягами технічного переобладнання та реконструкції існуючих будівель та споруд актуальними є питання оцінювання технічного стану конструкцій об'єктів, що експлуатуються і застосування відповідних методів їх відновлення та підсилення.

Досвід обстеження існуючих будівель з залізобетонними конструкціями свідчить про те, що одним з найбільш розповсюджених ушкоджень є порушення зчеплення арматури з бетоном, при цьому воно є більш характерним для масових згинальних елементів - плит та ригелів. Причинами порушення зчеплення є корозія арматури, відколи захисного шару бетону, порушення його структури внаслідок впливу температури та вологості.

Кількісна оцінка впливу порушення зчеплення арматури з бетоном на міцність та деформативність згинальних залізобетонних елементів, з'ясовано не досить повно.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі методи розрахунку міцності нормальних перерізів, при порушенні зчеплення арматури з бетоном, виходять із співвідношення між відносною висотою стиснутої зони бетону та її граничним значенням. У випадку порушення зчеплення арматури з бетоном відбувається зниження граничного значення відносною висоти стиснутої зони бетону, тобто $\xi R \leq \xi R$. При $\xi \leq \xi R$ - порушення зчеплення практично не впливає на міцність нормального перерізу, при $\xi \geq \xi R$ - порушення зчеплення викликає руйнування стиснутої зони залізобетонного елемента при напруженнях у розтягнутій менших, ніж граничні. Граничне значення відносною висоти стиснутої зони, при порушенні зчеплення арматури з бетоном визначають за формулою [2]

$$\xi_R^* = \xi_R \cdot K_c, \quad (1)$$

де K_c - емпіричний поправочний коефіцієнт, який визначають за виразом

$$K_c = \frac{1}{(0,0005R_b + 0,0000R_s)(\chi - 1) + 0,02\chi + 0,98}. \quad (2)$$

Ступінь порушення зчеплення арматури з бетоном оцінюється коефіцієнтом

$$\chi = f(\bar{F}/F) \quad (3)$$

де \bar{F}, F - площа епюри напружень в арматурі, за довжиною розтягнутої зони конструкції, відповідно, при порушеному та початковому зчепленні.

Фактично залізобетонний елемент зі втратою зчеплення арматури з бетоном перетворюються на статично невизначувану комбіновану систему, яка складається з самого залізобетонного елемента та арматури з порушенням зчепленням, яка закріплена по кінцям. При цьому зчеплення арматури з бетоном може бути втрачено повністю або частково. Під частковим порушенням зчеплення арматури з бетоном розуміють, для окремих стержнів розтягнутої арматури, будь-яку долю від свого початкового забезпеченого значення, або будь-яку частину стержнів розтягнутої арматури, з повністю порушенням зчепленням, із загальної їх кількості.