

ЗАСТОСУВАННЯ КЛЕЄСТЕРЖНЕВИХ АНКЕРІВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ МОСТІВ

Салійчук Л.В.

Кваша В.Г.

Національний університет "Львівська політехніка"

1. Вступ

Одним з розповсюджених типів з'єднань в залізобетонних конструкціях традиційно вважали з'єднання за допомогою закладних деталей з металевих пластин різної конфігурації, закріплених в бетоні гнучкими арматурними нормальними або нахиленими (відігнутими) анкерами [5, 7, 9, 12, 13]. Суттєвим недоліком таких з'єднань є їх велика матеріаломісткість, складна технологія виготовлення закладних деталей, ускладнене бетонування конструкцій в зв'язку з необхідністю їх фіксації в опалубці, а також трудомісткість виконання самих з'єднань, пов'язана з великим об'ємом електрозварювальних робіт. Крім того традиційні закладні деталі складно, а часто і неможливо застосувати в умовах модернізації, ремонту і реконструкції будівель і споруд. Відмічені недоліки спричинили до пошуку більш простих, технологічних і надійних типів анкерних елементів і вузлових з'єднань, які в рівній мірі могли б застосовувати як в новому будівництві, так і в умовах ремонту, відновлення та реконструкції, призводили би до скорочення термінів виконання робіт, економії матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів, зниження обсягів ручних робіт.

Одним з типів анкерів, які відповідають означеним вище умовам є так звані клеєстержневі анкери, розробки яких почались ще в 60-х роках минулого сторіччя [1, 2, 3, 8, 11, 14, 15]. На даний час у зв'язку з розвитком будівельної хімії клейові суміші знаходять все ширше застосування для з'єднань елементів будівельних конструкцій, зокрема при ремонті і реконструкції, де часто цей тип з'єднань є єдино можливий [1, 8, 15]. Спеціалізованими європейськими фірмами розроблена нова генерація вклеюваних анкерних елементів суцільного перерізу різного призначення як з арматурних стержнів, так і спеціальних заводського виготовлення, які постачаються виробником в комплекті з дозованими балонами клеєвої маси і обладнанням для вклеювання [4, 16]. Однак стандартні анкери мають обмежену несну здатність, і при реконструкції мостів, в з'єднаннях яких виникають значні зусилля, можуть застосовуватися тільки обмежено. Експериментальних досліджень їх роботи при різних комбінаціях навантажень проведено недостатньо, а дослідження трубчастих анкерів відсутні. Тому метою даної роботи була розробка клеєстержневих анкерів для застосування при реконструкції і підсиленні залізобетонних мостів та експериментально-теоретичне дослідження роботи в бетонному масиві трубчастого анкера при дії зсувних сил.

2. Конструктивні рішення та приклади застосування клеєстержневих анкерів

Клеєстержневі анкери влаштовують шляхом вклеювання арматурних коротунів гладкого чи періодичного профілю, трубчастих або спеціально виготовлених анкерних стержневих елементів в заздалегідь передбачені або висвердлені в бетоні канали. До вклеєних анкерів приварюють різного типу і призначення анкерувальні або об'єднувальні елементи. Конструктивна і технологічна простота влаштування анкерів та з'єднань залізобетонних елементів дає підстави стверджувати, що їх застосування призводить до значного скорочення трудозатрат, сприйняття навантажень на ранній стадії влаштування з'єднань (після полімеризації клею), скорочення до мінімуму об'єму супутніх технологічних операцій і кількості допоміжних пристроїв, що в умовах ринкового господарства є головним і визначальним.

Клеєстержневі анкери мають досить широку область застосування: в промисловому, цивільному та транспортному будівництві для влаштування з'єднань залізобетонних конструкцій, стикування складених по довжині і висоті елементів, в збірно-монолітних конструкціях для об'єднання існуючих і нових елементів, зв'язку старого бетону з новим, анкерування в бетоні арматури підсилення, нарощуванні поперечних перерізів та ін. Вклеєний анкер може застосовуватись як самостійний несний елемент або для закріплення до нього проміжних елементів стикувального (анкерувального) з'єднання. В окрему групу виділяють влаштування вклеєних анкерних болтів для закріплення конструкцій до фундаментів.

Основні типи конструкцій вклеєних стержневих анкерів з привареними до них різними типами анкерувальних елементів у вигляді петель, гаків, арматурних стержнів і жорстких упорів показані на рис. 1. Найпростішим конструктивним рішенням є одиночний анкер зі стержневим або трубчастим несним елементом (рис. 1, а). Другий тип – групові анкери з двома і більшою кількістю анкерних елементів, розташованих в один або декілька рядів з прикріпленими до них проміжними об'єднувальними елементами. Технологічно влаштування анкерів є надзвичайно простим і зводиться до вклеювання анкерувального стержня в заздалегідь утворені або висвердлені канали, діаметр яких в залежності від застосовуваної клеєної композиції на 2-4 мм більший від діаметра анкера. Перед вклеюванням канали необхідно старанно очистити від сміття, пилу, бруду і залишків бетону промиванням і продуванням стисненим повітрям.

Застосування клеєстержневих анкерів є досить ефективним і при підсиленні та реконструкції мостів, оскільки дає можливість без особливих труднощів вирішити одне з основних завдань реконструкції – надійно об'єднати для спільної роботи існуючі і добудовувані конструктивні елементи в реконструйованій споруді, а також спростити конструкцію вузлів об'єднання, технологію їх влаштування та значно скоротити терміни виконання робіт і їх трудомісткість. Як приклад на рис. 2 показано декілька характерних випадків їх застосування для об'єднання нових конструкцій з існуючими при підсиленні і розширенні залізобетонних прольотних будов і опор.

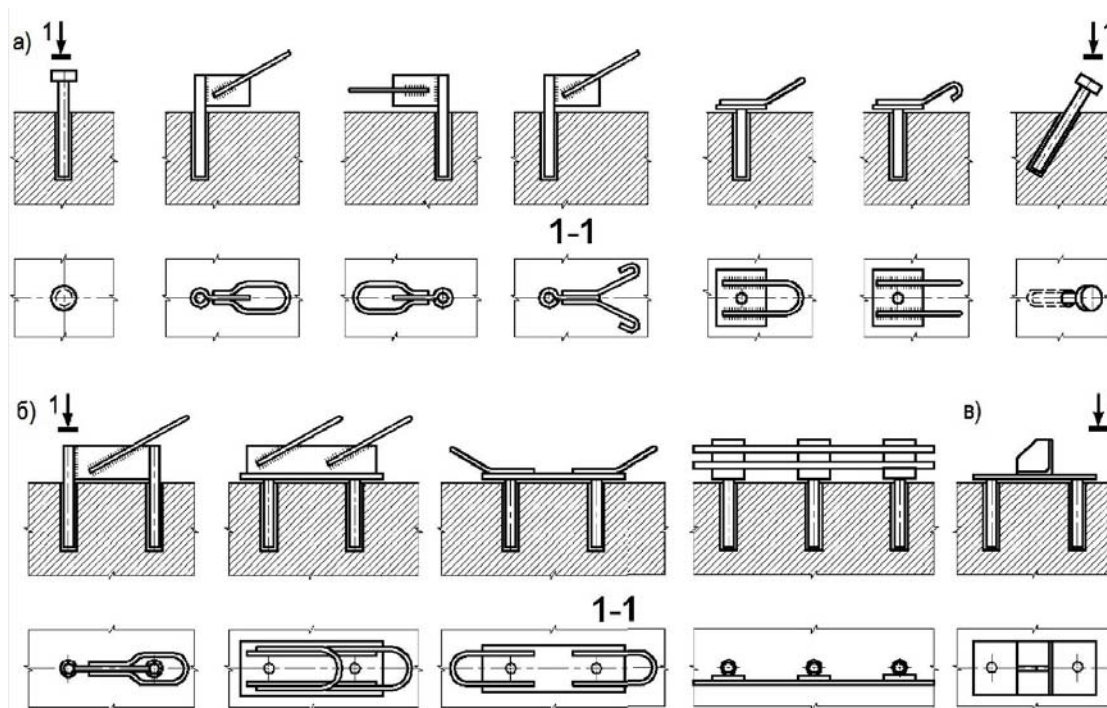
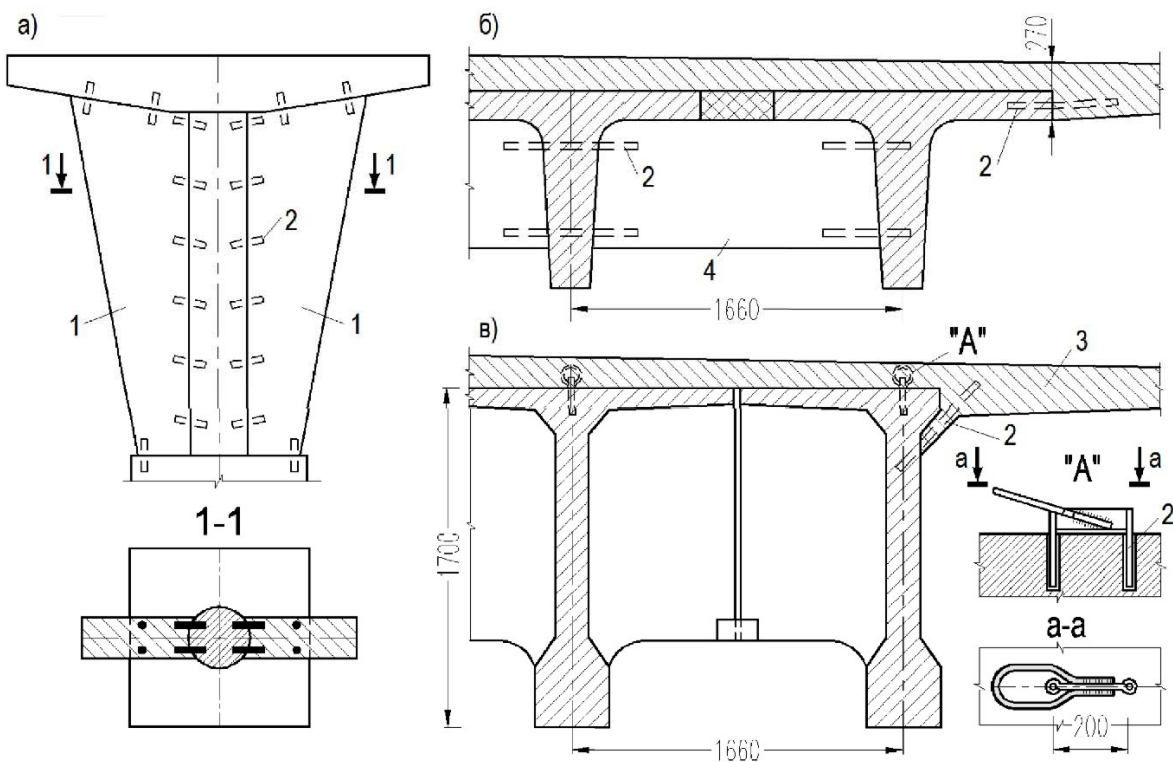


Рис. 1. Основні типи одиночних (а) і групових (б) клеєстержневих анкерів з анкерувальними елементами

При підсиленні ригеля одностовпчатої опори добетонованими конусоподібними ребрами 1 (рис. 2, а) їх об'єднували клеєними трубчастими анкерами у вигляді стержнів з відрізків труби діаметром 38 мм і товщиною стінки 4 мм. Для клеювання застосовували клеєву композицію Sikagroud 311, якою разом з піщаним наповнювачем заповнювали також трубу. Відстані між анкерами становили більше 40-50 см, тому в даному з'єднанні вони працюють як одиночні на сприйняття зсувних зусиль на контакті між старим і новим бетоном.

Клеєстержневі анкери 2 застосовані для об'єднання монолітної залізобетонної плити 3 розширення прольотних будов з існуючими балками (рис. 2, б, в), а також для прикріплення вмонолічених діафрагм 4 до ребер балок при перетворенні бездіафрагмової прольотної будови за ТП вип. 56 д в діафрагмову (рис. 2, б) для збільшення її поперечної жорсткості.

Можна навести і багато інших прикладів застосування клеєстержневих анкерів при реконструкції мостів. У переважній більшості випадків відстані між анкерами є значними, і тому вони працюють як одиночні. Найбільш характерним видом зусиль, які вони сприймають, є зсувні. Тому подальші експериментальні дослідження були спрямовані на вивчення міцності і деформативності одиночних клеєних анкерів при дії зсувної сили.



а – при підсиленні одностовпчатої опори; б, в – при розширенні прольотних будов монолітною залізобетонною накладною плитою і влаштуванні додаткових поперечних діафрагм.

1 – конусоподібні ребра підсилення ригеля опори; 2 – клеєстержневі анкери;

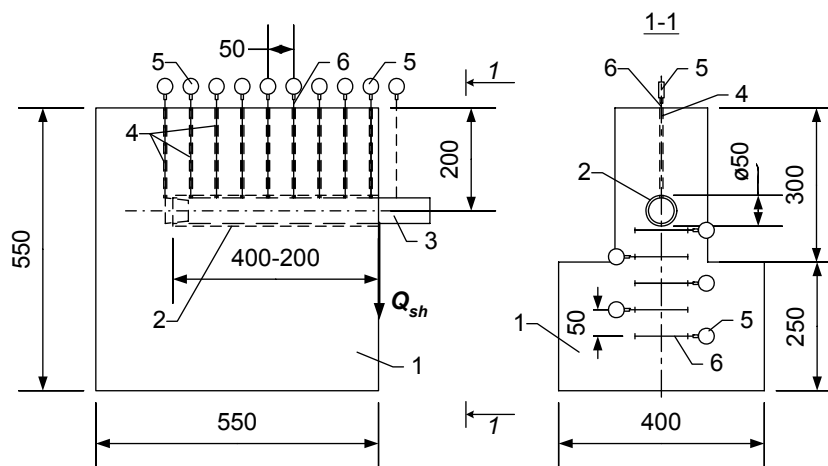
3 – монолітна залізобетонна плита; 4 – вмонолічена поперечна діафрагма.

Рис. 2. Приклади застосування клеєстержневих анкерів при реконструкції мостів

3. Експериментальні дослідження одиночного трубчастого клеєстержневого анкера при зсуві

Дослідження проводили на експериментальних зразках натурних розмірів, які являли собою бетонні блоки (склад бетону 1:1,32:3,65 при В/Ц = 0,42, проектний клас В25) з утвореними в них при виготовленні каналами діаметром 50 мм різної довжини: 250 мм (зразки А-1); 350 мм (А-2) і 450 мм (А-3), яка залежала від довжини вклеюваних одиночних анкерів з відрізків труби діаметром 38 мм і товщиною стінки 3,8 мм (рис. 3). Для кожної пари зразків довжина вклеювання становила, відповідно, 200 мм, 300 мм і 400 мм. Анкери вклеювали цементно-епоксидною композицією Sikagroud 311 з піщаним наповнювачем, якою заповнювали як канал, так і середину труби.

Одиночні трубчасті анкери А-1, А-2, А-3 (по два зразки кожного типу) випробовували зсувною силою Q_{sh} , прикладеною по боковому обрізу бетонного блоку (рис. 3). Методичною особливістю випробувань було експериментальне визначення зігнутої осі анкера в бетоні при дії на нього зсувної сили. Для цього в бетонних блоках при виготовленні через 50 мм утворювали вертикальні канали, в які встановлювали мікроіндикатори з ціною поділки 0,001 мм



1 – бетонний масив, 2 – канал для вклеювання анкера; 3 – анкер;
4 – канали для розташування штоків мікроіндикаторів, 5 – мікроіндикатор; 6 – видовжувач.

Рис. 3. Конструкція експериментальних зразків з вклеєними анкерами та схема розміщення приладів

з видовжувачами до контакту з поверхнею оклеєних анкерів (рис. 3). Таким чином вимірювали вертикальні переміщення анкера і одержували його зігнуту вісь, а за нею і робочу (деформовану) довжину анкерування при зрізі.

За основну кількісну величину міцності одиночного трубчастого анкера при зсуві приймали критичну силу Q_{cr} , яка відповідає точці перелому та значному викривленню графіків «зсуваюча сила-вертикальне переміщення» (рис. 4,а) [9, 13]. Експериментальне середнє значення критичної сили, визначене за узагальненим графіком деформацій найбільше

навантаженого перерізу 1 під силою з шести випробуваних зразків, становило $Q_{sh}^{cr} = 100,2$ кН,

а повне руйнівне навантаження $Q_{sh}^u = 145,4$ кН при співвідношенні між ними 1,37, що складає резерв несної здатності за межею критичної сили. Максимальне переміщення анкера на крайці

каналу при критичній силі становило $\Delta_{cr} = 0,24$ мм.

За вимірними переміщеннями побудовано епюри їх розподілу вздовж анкера (рис. 4, б). Це дало можливість експериментально визначити їх робочу (деформовану) довжину, яка для всіх зразків (А-1, А-2, А-3) виявилась однаковою і дорівнювала 150 мм, що становить приблизно $4d$ ($d = 38$ мм). Тобто, з практичних міркувань для надійного закріплення анкера в бетоні достатньо його довжини $(5-6)d$.

Аналіз графіків і епюр вертикальних переміщень дав можливість прийняти розрахункову модель системи, анкер-бетонний масив, у вигляді консольної балки на пружній або пружно-пластичній основі, розрахунок якої можна виконати методами розрахунку балок на пружній основі, як це прийнято в роботі [6].

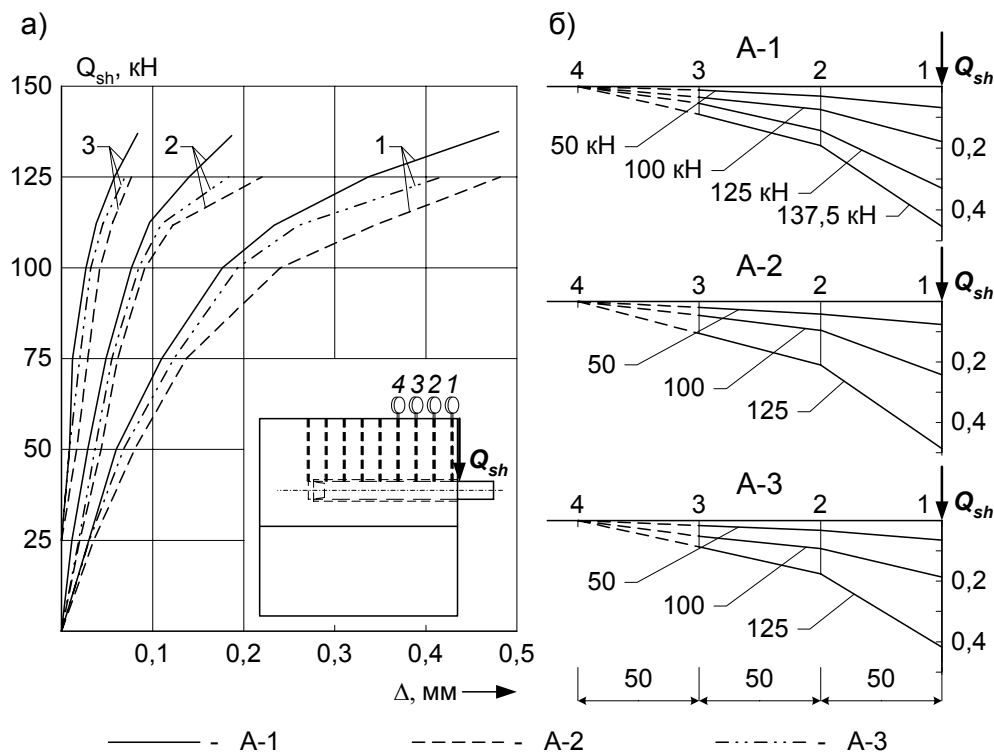


Рис. 4. Експериментальні графіки (а) і епюри (б) вертикальних переміщень стержня анкерів в перерізах 1, 2, 3 бетонного масиву в залежності від величини зсувної сили для випробуваних зразків

4. Методика розрахунку довжини анкерування вклесеного анкера в бетонному масиві

Диференціальне рівняння зігнутої осі анкера як балки на пружній основі при відсутності погонного навантаження має вигляд [6,10]:

$$\frac{d^4 y}{d\xi^4} + 4y = 0, \quad (1)$$

де $\xi = \frac{x}{L}$ – безрозмірна координата; $L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K}}$ – приведена довжина; E , I – модуль пружності і момент інерції анкера; K – коефіцієнт постелі основи за гіпотезою Вінклера;

Коефіцієнт постелі бетонної основи K можна визначити, використавши розв'язок плоскої контактної задачі Бусінеска про тиск круглого штамп, що моделює переріз анкера на півплощину, яка моделює бетонну основу (рис. 5) [6]:

$$K = \frac{g}{\Delta}, \quad (2)$$

де g – інтенсивність прикладеного до штамп рівномірно розподіленого навантаження; Δ – вертикальне переміщення (осідання) бетону під штампом.

Осідання бетонної основи можна представити як функцію її деформацій [6]:

$$\Delta = \int_{0,5d}^r \varepsilon_b dr = \int_{0,5d}^r \frac{\sigma_r}{E_b} dr, \quad (3)$$

де σ_r – радіальні стискальні напруження в бетонній основі по вертикальній осі анкера; E_b – початковий модуль пружності бетону основи (при її роботі в пружній стадії).

Згідно з відомим розв'язком Бусінеска зміна радіальних напружень σ_r по глибині основи виражається формулою

$$\sigma_r = \frac{2gd}{\pi r}. \quad (4)$$

Враховуючи те, що згідно з тим же розв'язком напруження σ_r наближаються до нуля на відстані $r=6d$, маємо границі інтегрування в формулі (3) $0,5d-6d$ (рис. 5). Тоді з формули (3) одержуємо:

$$\Delta = \int_{0,5d}^{6d} \frac{2gd}{\pi r E_b} dr = \frac{2gd}{\pi E_b} \int_{0,5d}^{6d} \frac{dr}{r} = \frac{2gd}{\pi E_b} \ln r \Big|_{0,5d}^{6d} = \frac{2gd}{\pi E_b} \ln 12 = \frac{2gd}{3,14 E_b} \cdot 2,4849 = \frac{1,583gd}{E_b}. \quad (5)$$

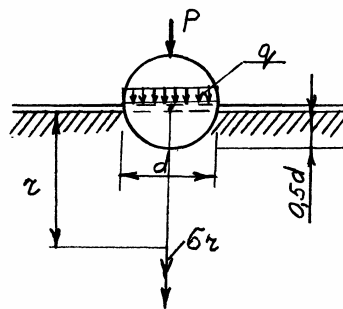


Рис. 5. Розрахункова схема до визначення коефіцієнта постелі бетонної основи

Після підстановки (5) в (2) одержимо вираз для розрахунку коефіцієнта постелі бетонної основи:

$$K = \frac{gE_b}{1,583gd} = 0,63 \frac{E_b}{d}. \quad (6)$$

Роботу бетонної основи в пружно-пластичній стадії можна врахувати введенням в формулу (6) січного модуля пружно-пластичних деформацій $E'_b = \nu E_b$ [6] де ν – коефіцієнт пружності бетону, який залежить від рівня напружень в бетоні і визначається характером діаграми деформування $\sigma_b - \varepsilon_b$.

Загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння (1) у випадку балки кінцевої довжини, навантаженої на кінці зосередженою силою P і згинальним моментом $M = P \cdot e$, представлений в роботі [10]. В результаті одержано вирази для визначення переміщень та розподілу згинальних моментів і поперечних сил по довжині анкера.

З одержаних виразів визначено робочу довжину анкера, з умови, що границею ділянки системи «анкер-бетонна основа», на якій сприймається діюча зсувна сила P , є переріз анкера, в якому вертикальні переміщення і поперечна сила зменшуються до нуля, а згинальний момент має максимальне значення. З розв'язку рівняння (1) цій умові відповідає відносна довжина анкера в бетоні:

$$\xi_k = \frac{l_k}{L} = \pi, \quad (7)$$

звідки
$$l_k = \pi L. \quad (8)$$

Формула (8) представляє собою ефективну довжину анкера, на якій проходять його деформації і сприйняття поперечного навантаження. Її можна вважати мінімальною довжиною вклеювання анкера в бетонний масив, тобто з умов забезпечення міцності і обмеження деформацій фактична довжина анкерування $l_a \geq l_k$.

Висновки

1. Клеєстержневі анкери є ефективним засобом об'єднання елементів залізобетонних конструкцій як при новому будівництві, так і в умовах реконструкції і мають широку область застосування.
2. Робоча довжина досліджених вклеваних трубчастих анкерів натурних розмірів становить $4d$. З умови надійності анкерування в бетоні їх повну довжину необхідно приймати $l_a = (5 - 6)d$.
3. При поперечному навантаженні трубчастий анкер працює на згин як балка на бетонній пружній або пружно-пластичній основі в залежності від величини радіальних стискувальних напружень σ_r . Тому при розрахунку на зсув системи «анкер-бетон» розрахункову модель можна прийняти у вигляді балки кінцевої довжини на бетонній основі, яка в загальному випадку вздовж анкера може мати пружну і пружно-пластичну ділянки. Коефіцієнт постелі основи визначають з розв'язку плоскої задачі дії жорсткого кругового штампа на бетонну основу.

Література

1. Барч З.И., Рунцо Н.П., Фишера М.Ф. Некоторые решения реконструкции промзданий с железобетонным каркасом. // Бетон и железобетон. – № 4. – М.: Стройиздат, 1987. – С.9-10.
2. Белов Б.П. Расчет глубины заделки штырей в стыках сборных конструкций // Бетон и железобетон. – № 6. – М.: Стройиздат, 1984. – С.18-19.

3. Белов Б.П. Трещиностойкость клеештыревых стыков железобетонных элементов сборных мостов. // Труды СоюздорНИИ Новые направления в исследованиях конструкций и технологии строительства мостов. – М.: СоюздорНИИ, 1988. – С. 56-64.
4. Губій М.М., Коваленко О.С., Герасенко О.А. Розрахунок несучої здатності розпірних анкерів для кріплення елементів підсилення до кам'яної кладки і бетону. // Зб. Будівельні конструкції. – Вип. 67. – К.: НДІБК, 2007. – С. 148-153.
5. Клименко Ф.Є., Салійчук Л.В. Експериментальні дослідження міцності і деформативності гнучких анкерів закладних деталей при їх взаємодії з бетоном. // Вісник Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – № 7. – Львів: ДАУ, 2006. – С. 119-128.
6. Климов Ю. Предельное состояние арматурного стержня в бетонном массиве при продольно-поперечном изгибе.// XL Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB Problemy naukowo-badawcze budownictwa.– tom 3: Konstrukcje betonowe. – Rzeszów–Krynica–Warszawa: Zakład małej Poligrafii Politechn. Rzeszowskiej, 1994. – С. 85-92.
7. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1984. – 87 с.
8. Саканский Ю.Н., Белов Б.П. Ремонт и усиление железобетонных мостов. // Автомобильные дороги, №2. – М., 1986. – С. 17-18.
9. Салійчук Л.В. Дослідження роботи гнучких анкерів в закладних деталях і з'єднаннях залізобетонних конструкцій. // Вісник Теорія і практика будівництва. – № 562. – Львів: НУ Львівська політехніка, 2006. – С. 81-96.
10. Салійчук Л.В. Ольховий І.М. Розрахункове дослідження роботи в бетоні трубчастого вмонтованого анкера при поперечному навантаженні. // Зб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 69. – К.: НТУ, 2004. – С. 219-225.
11. Серегин И.Н., Саканский Ю.Н., Белов Б.П. Клеештыревые стыки железобетонных элементов сборных мостов. // Труды СоюздорНИИ Совершенствование конструкций железобетонных пролетных строений автодорожных мостов и технологии их строительства. – М.: СоюздорНИИ, 1982. – С. 47-57.
12. Холмянский М.М. Закладные детали сборных железобетонных элементов. – М.: Стройиздат, 1968. – 208 с.
13. Шитиков Б.А. Экспериментальные исследования анкерных стержней в бетоне при действии поперечной нагрузки. // Сб. Совершенствование железобетонных конструкций. – Вып. 27. – М.: Стройиздат, 1978. – С. 165-177.
14. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О. Кратковременная прочность анкерования арматурных стержней модифицированными акриловыми клеями. // Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівлі та споруди. – Вип. 7. – Рівне: РДТУ, 2001. – С. 238-243.
15. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О. Золотов С.М. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений // Зб. Будівельні конструкції. Вип.. 54. – К.: НДІБК, 2003. – С. 810-814.
16. Podręcznik techniki mocowań. Hilti. Wyd. III. – 2006. – 302 s.