

ПОЛТАВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ДОВБЕНКО Оксана Олександрівна

УДК 624.046:539.4:624.012.4

МІЦНІСТЬ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
ПРИ МІСЦЕВОМУ ПРИКЛАДАННІ СТИСКУЮЧОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції,  
будівлі та споруди

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Полтава – 1993

413 28.078

Робота виконана в Полтавському інженерно-будівельному інституті

- Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент В.П.Мітрофанов
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор О.П.Кричевський
- кандидат технічних наук, доцент О.М.Шаповалов
- Ведуча організація - Харківський ПромбундДІпроект

Захист відбудеться "12" листопада 1993 р.  
 в 14<sup>00</sup> годин на засіданні спеціалізованої ради  
 К 068.46.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди"  
 при Полтавському інженерно-будівельному інституті за адресою:  
 314601, м.Полтава, Першотравневий пр-т, 24

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту.

Відгуки на автореферат просимо надсилати на ім'я вченого секретаря в двох примірниках, завірених печатков.

Автореферат розісланий "10" вересня 1993 р.

Вчений секретар  
 спеціалізованої ради,  
 кандидат технічних наук,

доцент

В.О.Бондар

ЛНБ ім. В. Стефаніка

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00802548 (R)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В практиці будівництва поширені бетонні і залізобетонні конструкції і їх елементи, які зазнають дію місцевого навантаження – локального стиску /стики колон; торці попередньо напружених конструкцій при звільненні арматури; горизонтальні стикові з'єднання панелів зовнішніх стін і перекриття; стіни і опори мостів в місцях опирання балок, прогонів, перемичок/ і продавлювання /плити фундаментів і перекриття, оболонки/. Одним із резервів зниження матеріалоемкості, енергоемкості, працевитрат і вартості вказаних елементів є вдосконалення методів їх розрахунку.

Згідно діючим БНІП 2.03.01-84\* і БНІП 2.05.03-84 розрахунок елементів на зминання здійснюється по емпіричній залежності, в якій за визначальний фактор приймається відношення так званої "розрахункової" площі  $A_{ecc2}$  до площі зминання  $A_{ecc1}$ . Проте величина  $A_{ecc2}$  є умовною, оскільки вона не має достатньо чіткого визначення, дозволяючого знаходити її. При цьому норми не дають загальних рекомендацій по визначенню  $A_{ecc2}$ , а вміщують відомості по призначенню "розрахункової" площі для обмеженого переліка випадків зминання.

Характер зруйнування зразків при односторонньому і двосторонньому центральному зминанні свідчить про утворення вертикальних тріщин відриву /розколювання/, частково перетинаючих елемент по висоті  $h$ , що вказує на необхідність врахування в цих випадках опору бетону розтягу на частини висоти  $h$  і впливу на міцність відношення  $h/e_{ecc}$ . Таким чином, параметр  $A_{ecc2}/A_{ecc1}$  не завжди є визначальним фактором міцності на зминання.

Поверхня зруйнування при зминанні-розколюванні складається із ділянок зсуву і відриву, в межах яких характер роботи арматури суттєво відрізняється. По існуючій нормативній методиці вплив сітчастої арматури враховується за допомогою емпіричних залежностей однаково в зоні і зсуву і відриву – шляхом коефіцієнта непрямого армування і опору арматури розтягу. Однак, арматура, розташована в зоні зсуву зазнає крім розтягу, згин, впливом якого БНІП нехтує. Крім того, нормативна методика базується на даних, одержаних при дослідженні об'ємного напруженого стану, хоча в випадку плоских елементів робота арматури в їх площині відрізняється від роботи стержнів у перпендикуляр-

ному напрямку. Останнє може бути причиною відміченого в деяких роботах суттєвого розходження теоретичної міцності по БНП з послідною для армованих зразків.

Джерелом відмічених вище недоліків нормативного розрахунку міцності на місцеве стискування є те, що він не застосований на розгляданні граничного напружено-деформованого стану.

Поскільки, при місцевому прикладанні навантаження в елементах виникає складний напружено-деформований стан /НДС/, при якому, як відомо, граничний стан бетону визначається двома фундаментальними характеристиками міцності -  $R_b$  і  $R_{bc}$ , то очевидно, що і при продавлюванні міцність залежить від обох величин  $R_b, R_{bc}$ . Однак, діючі норми не враховують впливу  $R_b$  на міцність при продавлюванні. Крім того, в цих розрахунках нехтується залежністю міцності від кількості поздовжнього армування плити. Слід відмітити недостатню кількість експериментальних досліджень продавлювання плит позцентрово прикладеним навантаженням.

Переважаючий в теперішній час емпіричний шлях одержання залежностей для розрахунку міцності при складних НДС потребує на свою реалізацію значних витрат праці, матеріалів і енергії. Цей шлях не завжди дозволяє виявити всі визначальні фактори, впливаючі на міцність конструкцій. Отримані формули є поодинокими, з обмеженою умовами експерименту областю застосування, яка не завжди чітко визначена. Альтернативним шляхом розв'язання задач міцності при складних НДС являється використання достатньо загальної теорії, дозволяючої відобразити важливі властивості бетону і враховувати основні фактори.

В зв'язку з викладеним вище вивчення НДС і вдосконалення методів розрахунку міцності елементів при місцевій дії навантаження зостається актуальною задачею.

Ц і л " ю р о б о т и є вдосконалення розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів, зазначаючи дію місцевого стискувального навантаження, на основі варіаційного методу теорії ідеальної пластичності бетону і експериментальна перевірка отриманих теоретичних рішень.

А в т о р з а х и щ а є :

- теоретичні рішення варіаційним методом теорії ідеальної пластичності бетону задач по визначенню граничного навантаження при односторонньому і двосторонньому зминанні бетонної пластинки

і куба при різних схемах розташування навантаження, двосторонньому зминанні залізобетонної пластинки, зминанні бетону під поперечно навантаженим анкером, центральному і позацентровому продавлюванні плит;

- метод сумісного визначення характеристик міцності бетону при осьовому стиску і розтягу із випробувань кубічних зразків на розколювання;

- методику і результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану плит при позацентровому продавлюванні;

- методику і результати експериментів по дослідженню форм зруйнування і опору зминанню при різних схемах розташування зминаючого навантаження.

#### Наукова новизна роботи:

- запропонована загальна методика розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів при місцевому прикладанні стискуючого навантаження;

- на основі варіаційного методу теорії ідеальної пластичності бетону отримані рішення задач по визначенню граничного навантаження при зминанні плоских і масивних бетонних і залізобетонних елементів з різними схемами розташування навантаження, а також при продавлюванні плит центральним і позацентровим навантаженням;

- вперше запропонований метод одночасного визначення характеристик міцності бетону при осьовому стиску  $R_b$  і розтягу  $R_{bt}$  із випробувань кубічних зразків на зминання-розколювання.

#### Практичне значення роботи.

Застосування запропонованого методу розрахунку граничного навантаження при зминанні і продавлюванні приводить до уточнених, по зрівнянню з діючими нормами, залежностей, що дозволяє більш повно оптимізувати розміри елементів та їх армування.

Запропонований метод розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів на зминання і продавлювання являється легко засвоюваним проєктувальниками студентами і без труднощів реалізується на ПОМ. Цей метод достатньо загальний, дозволяє отримати теоретичні залежності і для випадків не розглянутих в цій роботі.

Запропонований метод сумісного визначення міцносних характеристик бетону  $R_b$  і  $R_{bt}$  із випробувань зразків на зминання-розколювання знижує витрати матеріалів, енергії і праці при

контролі міцності бетону на заводах ЗЕВ і проведенні науково-дослідних робіт.

Отримано позитивне рішення державної патентної експертизи Держпатента СРСР на запропонований "Спосіб визначення міцносних характеристик бетону".

Результати НДР використані для розробки робочих креслень панелей зовнішніх стін крупнопанельних будівель і фундаментів під колони.

Розроблені рекомендації по розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів при місцевому прикладанні стискуючого навантаження впроваджені в державних проектних інститутах Мінськ-будпроект і Укргіпрогеолбуд /м.Полтава/ і проектно-дослідницькому інституті Полтавагропроект.

**А п р о б а ц і я р о б о т и :** Основні положення дисертаційної роботи схвалені на 39-44 наукових конференціях професорів, викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів Полтавського інженерно-будівельного інституту /Полтава, 1987-1993рр/, на I Всесоюзному симпозиумі "Механіка і фізика зруйнування композитних матеріалів і конструкцій" /Ужгород, 1988р/, на зональному семінарі "Підвищення якості, надійності будівництва і реконструкції будівель" Приволзького дому науково-технічної пропаганди /Пенза, 1989р/, на республіканській науково-технічній конференції "Вдосконалення залізобетонних конструкцій, працюючих на складні види деформацій, та їх впровадження в будівельну практику".

**О б'є м р о б о т и :** Дисертаційна робота складається із вступу, шести глав, загальних висновків, списку використаних джерел із 157 найменувань і додатків. Загальний об'єм роботи - 222 стор, в тому числі 104 стор. машинодрукованого тексту, 60 малюнків, 21 таблиця.

#### СТИСЛИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дано обґрунтування актуальності виконаних досліджень, їх науковій новизні і практичній цінності.

В першій главі зроблений огляд вітчизняної і закордонної літератури по питанням міцності елементів при дії місцевого навантаження - зминанні і продавлюванні і поставлені задачі даної роботи.

До теперішнього часу проведена значна кількість експериментальних досліджень по визначенню міцності бетонних і залізо-

тонних елементів при дії місцевого стиску, по вивченню впливу різних факторів на їх міцність і розробці розрахункових залежностей, заснованих на результатах експериментів. Великий внесок в дослідження проблеми внесли вітчизняні дослідники Б.М.Гладишев, В.Г.Донченко, О.С.Залесов, Л.М.Зайцев, В.Г.Кваша, С.М.Крилов, І.І.Мустафін, О.Б.Піралов, І.О.Рохлін, В.М.Сахаров, О.В.Старчевський, С.О.Семенцов, С.В.Смірнов, Б.С.Соколов, І.С.Ульбієва, Г.Д.Ціскрелі, В.О.Червонабаба, М.М.Холм-янський і інші. Із закордонних авторів найбільш відомі Т.Ау, Баушингер, Бах, Д.Берду, Герц, О.Граф, Крєгер, Х.Спіт, С.Нийоги, Хондрос та інші.

Огляд літератури показав, що при розрахунку міцності розглянутих елементів існує кілька підходів. Так, емпіричний підхід, що лежить в основі БНП 2.03.01-84<sup>ж</sup>, передбачає пропорційність міцності при місцевому стиску опору бетону осьовому стиску  $R_b$  і залежність її від відношення "розрахункової" площі до площі змінання.

Напівемпіричний підхід включає кілька методик, кожна з яких використовує цілий ряд емпіричних коефіцієнтів:

- розрахунок міцності плоских бетонних елементів на основі використання умов міцності для плоского напружено-деформованого стану /Л.М.Зайцев, І.І.Мустафін, С.В.Смірнов та інші/;

- використання методу граничної рівноваги для розв'язання задач міцності елементів /плоских і масивних/ на основі механізму зруйнування як подолання опору відриву і зсуву /С.М.Крилов, Л.М.Зайцев, І.С.Ульбієва, О.С.Залесов, О.В.Старчевський, В.М.Сахаров, М.М.Холм-янський та інші/;

- каркасно-стержнева модель /Б.С.Соколов та інші/.

Відомий розрахунок міцності на основі методів теорії пружності. При цьому міцність на змінання визначена як функція міцності бетону на розтяг і геометричних розмірів зразка і штамп /Н.Н.Ахвердов, В.Г.Донченко, Г.І.Міріманов, О.Э.Пфлаумер та інші/.

У відомих методиках звичайно враховуються конкретні, відповідні вирішуваній задачі умови. Вибір будь-якого з методів розрахунку для практичного використання ускладнюється не тільки в силу неспівпадання кількісних результатів, а і в силу принципової різниці головних передумов розрахунку. Треба віддати перевагу методиці розрахунку, яка б базувалась на загальній основі. Такою основою на нашу думку може бути варіаційний метод теорії ідеальної пластичності бетону, розроблений у Полтавському ІБІ. Засто-

сування його потребує аналізу НДС конструкцій і форм зруйнування, зважаючи на вплив основних параметрів.

В дослідження проблеми продавлювання великий вклад внесли вітчизняні дослідники М.С.Боришанський, О.П.Васільєв, О.О.Гвоздев, В.М.Голосов, О.С.Залесов, М.М.Коровін, І.В.Ступкін, О.Н.Теїор та інші.

Уточненню схем зруйнування при продавлюванні залізобетонних конструкцій присвячені дослідження О.І.Корольова, С.А.Рівкіна, І.О.Рохліна, В.В.Чіжевського та інш. Роботи М.М.Брайловського, М.М.Коровіна, С.М.Крилова, Е.С.Лейтеса, М.М.Милейковського та інших спрямовані на дослідження товстих плит.

Із закордонних дослідників, що внесли значний внесок в розвиток розрахунків залізобетонних плит і конструкцій на продавлювання відмічаються Блейк, Герцог, Гійон, Енсен, Мое, Таскер, Хогнестад, Ельстнер, Хольмберг, Уайт та інші.

При розрахунках на продавлювання відомі дві трактовки механізму зруйнування: 1/ як відриву одночасно по всій поверхні піраміди продавлювання; 2/ як зруйнування бетону стиснутої зони у кінця раніше розвинутої просторової тріщини, виділяючої піраміду продавлювання.

Основними факторами впливаючими на міцність плит є міцність бетону, форма і розміри площадки навантаження, товщини плити, проліт зрізу, кількість поздовжнього і поперечного армування, ексцентриситет продавлюючої сили. Із указаних факторів вітчизняними нормами не враховується кількість поздовжнього армування і ексцентриситет сили.

У другій главі викладені наслідки теоретичних досліджень по розрахунку міцності елементів при дії місцевого навантаження.

Серед різних методів рішення задач механіки твердого деформованого тіла частіше більш ефективними виявляються прямі варіаційні /енергетичні/ методи. Порівняно простий, прийнятий в інженерній практиці метод розрахунку складнапружених бетонних конструкцій та їх елементів розроблений в Полтавському ІБІ.

Для його розробки використовувались наступні передумови:

І. До бетону в стадії зруйнування застосовується передумова про ідеальну пластичність. Визначальним для застосування вказаної передумови є одночасність існування граничного стану в більш крихких /розтягнутих/ і більш пластичних /стиснутих/ зонах зруйнування бетону.

2. Приймається умова міцності бетону Г.О.Генієва, розглядаємого як пластичний потенціал

$$F(\sigma_{ij}) = T^2 + m\sigma - T_{sk}^2 = 0, \quad (1)$$

де  $m = R_{\theta} - R_{\theta c}$ ,  $T_{sk}^2 = R_{\theta} R_{\theta c} / 3$ ,  $T$  - інтенсивність дотичних напружень,  $\sigma$  - середнє напруження.

Зв'язок швидкостей деформацій з напруженнями знаходиться із асоційованного закону пластичного деформування

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \lambda \partial F / \partial \sigma_{ij}, \quad (2)$$

$\lambda$  - параметр, рівний швидкості об'ємної деформації.

3. Використовується схема жорстко-пластичного тіла і рішення задач в розривних функціях швидкостей.

Функціонал методу в розривних функціях швидкостей для трьохосних напружених станів виходить таким

$$J = \int_{S_e} [B^2 + 0.25(\Delta U_c / \Delta U_n)^2] \Delta U_n ds - \int_{S_f} f_i^* U_i ds - \int_{S_v} U_i^* ds, \quad (3)$$

де  $B^2 = 11 + \chi / 11 - \chi^2 / 3$ ,  $\chi = R_{\theta c} / R_{\theta}$

$f_i^*$ ,  $U_i^*$  - задавані сили і швидкості відповідно на ділянках  $S_f$  і  $S_v$  поверхні тіла  $S = S_f \cup S_v$ ,  $S_e$  - поверхня зруйнування;  $\Delta U_n$ ,  $\Delta U_c$  - розриви /скачки/ нормальної і дотичної до  $S_e$  складових швидкості.

Для плоских напружених станів перший член виразу /3/ набуває вид:

$$J_e = \int_{S_e} m [2B(1 + 0.25(\Delta U_c / \Delta U_n)^2)^{1/2} - 1] \Delta U_n ds. \quad (4)$$

Розрахунок виконується в послідовності:

1/ для розглядаемого випадку змінання, враховуючи дані опитів або інтуїтивно приймається кінематично можлива схема зруйнування, тобто приймається обрис поверхні зруйнування /розриву швидкостей/, що розділяє раніше цілий елемент на вважаємі абсолютно жорсткими частини, здійснюючі в стадії зруйнування взаємний рух з певними швидкостями. При цьому вводяться геометричні параметри  $g_i$ , визначаючі поверхню зруйнування і швидкості руху частин елемнту  $U_j$ , прийнята кінематично можлива схема зруйнування елемнту відображає специфіку НДС в стадії зруйнування розглядаемого елемнту чи конструкції;

2/ на поверхні зруйнування  $S_e$  знаходяться розриви /скачки/ нормальної  $\Delta U_n$  і дотичної  $\Delta U_c$  до  $S_e$  складових швидкості, що виражаються через параметри  $g_i$  і  $U_j$ ;

3/ записується функціонал /3/ - /4/, який додатний на дійсному НДС і досягає мінімуму рівного нулю;

4/ знаходиться вираз  $F$  через параметри  $J_i$  і відношення швидкостей  $K_j = U_j/U_F$ , де  $U_F$  - швидкість точки прикладання навантаження;

5/ із умови  $F = \min$  знаходяться невідомі величини  $J_i$  і  $K_j$ , по яким потім вичисляється граничне навантаження.

На мал.1 показана сукупність задач, розв'язаних пропонуєним методом, на мал.2 - кінематично можливі схеми зруйнування для розглянутих випадків змінання.

В залізобетонних зразках здійснюється роздільний облік роботи арматури, розташованої в межах зон відриву і зсуву. Арматура, розташована в зоні зсуву, розглядається на основі розробленої в Полтавському ІБІ розрахункової схеми повздовжньої арматури в зоні похилої тріщини, використовуючої модель стержня на деформуємій основі, навантаженого на кінці повздовжньою і поперечною силами.

При визначенні граничного навантаження центрально продавленої плити прийнята кінематично можлива схема зруйнування зразка, наведена на мал.3,а. Використовується поверхня зруйнування з ламаною твірною, яка складається із двох відрізків - верхнього, розташованого в стиснутій зоні бетону з кутом нахилу до вертикалі  $\gamma$  і висотю  $x$  і нижнього, нахилоного до горизонталі під кутом  $\alpha$ , моделюючого тріщину, яка утворилась до стадії зруйнування. Таким чином, зразок розділений на дві частини: центральний диск I, перемішувийся зі швидкістю  $U_1$  відносно іншої частини II зразка.

Вираз граничного навантаження має вид:

$$\frac{F_u}{R_{oc} u_m h_0} = \frac{1-x}{x} (B^2 \operatorname{tg} \gamma + \frac{1}{4 \operatorname{tg} \gamma}) \xi \frac{\delta + 2 \operatorname{tg} \alpha \xi}{\delta + 2}, \quad /5/$$

де  $\delta = (h_x + v_x)/h_0$ ,  $u_m = 2(h_x + v_x + 2h_0)$ ,  $\xi = x/h_0$ .

Облік роботи арматури здійснюється шляхом використання умови  $\sum X = 0$  :

$$N_0 - N_s = 0. \quad /6/$$

При розв'язанні задачі також вводяться спрощуючі допущення відносно проєкції тріщини, напруження в бетоні стиснутої зони і напруження в розтягнутій арматурі.

Типи розглядаємих задач

Місцеве стискання

Продавлювання залізобетонної плити колоною з зусиллями

Бетонні елементи

залізобетонні елементи

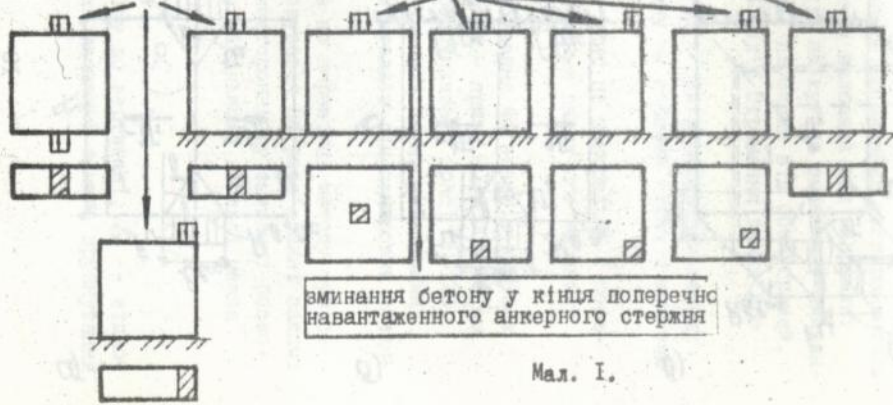
$F$

$F, M$

Плоский напружений стан

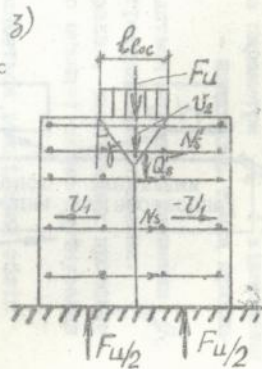
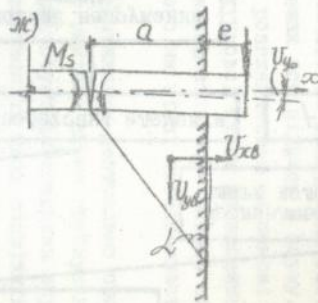
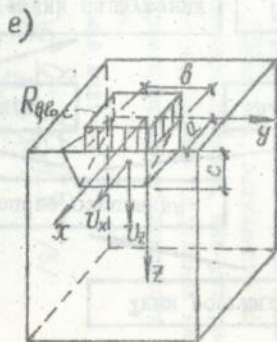
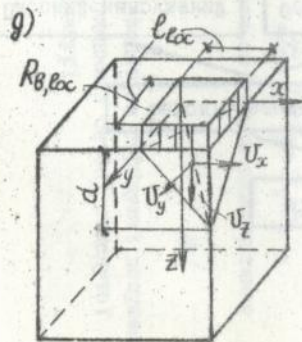
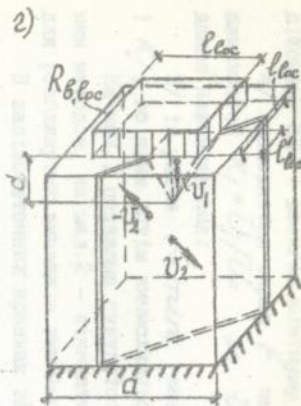
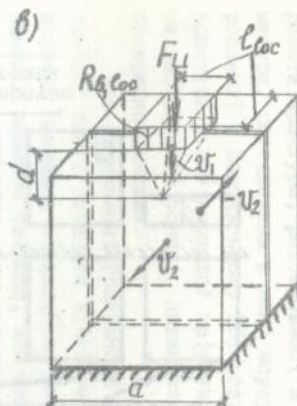
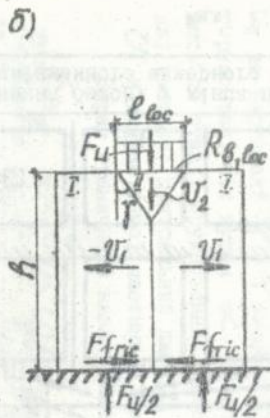
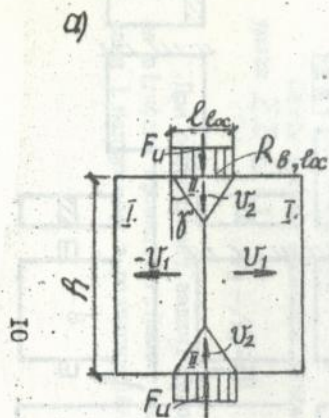
Об'ємний напружений стан

Плоский напружений стан



зминання бетону у кінця поперечно навантаженого анкерного стержня

Мал. I.



Розрахункова схема для позацентрального продавлювання наведена на мал.3,б., де площею навантаження являється не весь поперечний переріз колони, а його частини  $\mathcal{X}_k \times \beta_k$ . Величина  $\mathcal{X}_k$  визначається по відповідній стадії роботи колони.

Застосування варіаційного методу теорії ідеальної пластичності дозволило охопити загальною методикою широке коло задач при зминанні і продавлюванні. Цей підхід поглиблює уявлення про граничний стан /механізм зруйнування/ елементів, виявляє резерви міцності по зрівнянню з БНП за рахунок виявлення дійсних факторів, визначаючих міцність, відкриває великі можливості для оптимізації армування, форми і розмірів розглядаємих бетонних і залізобетонних елементів.

В третій главі викладена методика проведених експериментальних досліджень. Програма експерименту включала три напрямки:

- випробування бетонних зразків на кутове зминання, зминання зі змищенням вантажопередавальної площадки від обох граней, зминання у поздовжнього ребра з ціл'ю отримання даних про характер зруйнування і міцність;

- випробування бетонних зразків з ціл'ю перевірки методу сумісного визначення міцності бетону на осьовий стиск і осьовий розтяг;

- випробування залізобетонних плит на центральне і позацентрове продавлювання з ціл'ю отримання даних про характер зруйнування і несучу здатність.

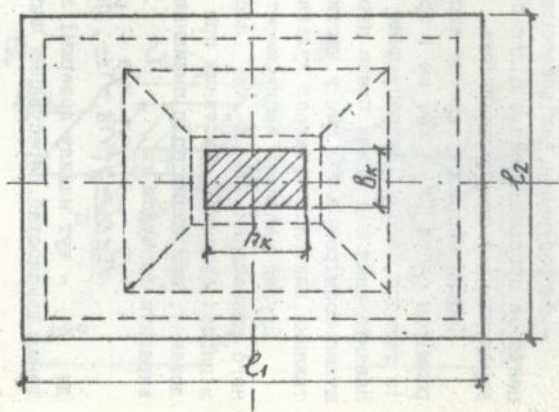
Перший напрямок включає випробування 44 зразків-кубів з розміром ребра 150 і 200 мм і зразків - призм 200x200x800 мм із важкого бетону. Випробування проводились в пресі ПГ-125. Навантаження від плити преса передавались через металічний штамп розміром 50x50 мм, у частини зразків для центровки навантаження використовувалась кулька.

Другий напрямок експериментів по перевірці методу сумісного визначення  $R_b$  і  $R_{bt}$  засновувався на розв'язанні задачі міцності бетонної пластинки при двосторонньому зминанні-розколюванні, при якому опір зминанню в загальному вигляді можна виразити формулою

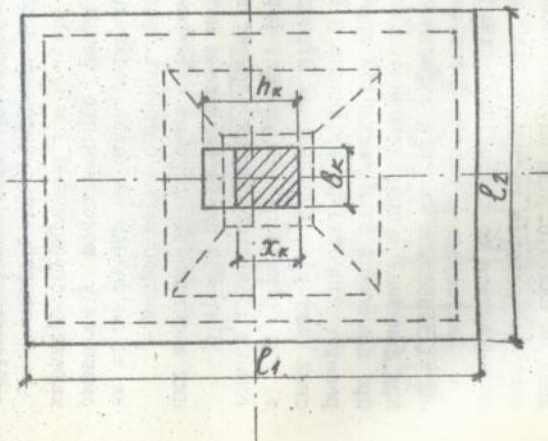
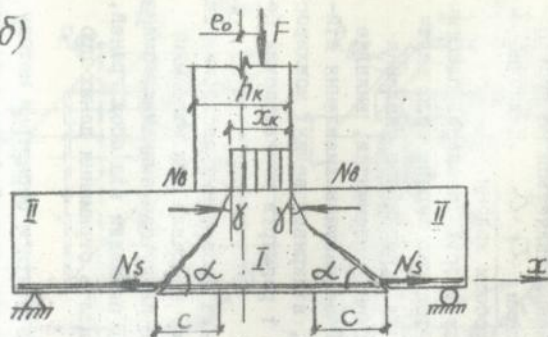
$$R_{b,ex} = f(R_b, R_{bt}, \gamma, K, \alpha), \quad 171$$

де  $\gamma$  - кут нахилу поверхні зрізу до вертикалі,  $K$  - відношення швидкостей пересування частин пластини в мить зруйнування,

a)



б)



$f$  - деяка функція.

Після визначення із умови мінімуму напруження  $R_{\beta, \text{ср}}$  невідомих  $\gamma$  і  $K$  і підстановки останніх в /7/ виходить формула граничного напруження, яку можна виразити так

$$R_{\beta, \text{ср}} = f(R_{\beta}, \chi, \alpha). \quad /8/$$

Випробування при двосторонньому зминанні однакових зразків із одного і того ж бетону, але при двох різних розмірах ширини площадки зминання  $\ell_{\text{ср}1}$  і  $\ell_{\text{ср}2}$  приведуть до відповідних величин міцності на зминання  $R_{\beta, \text{ср}1}$  і  $R_{\beta, \text{ср}2}$ , які згідно з /8/ виражаються так:

$$\left. \begin{aligned} R_{\beta, \text{ср}1} &= f(R_{\beta}, \chi, \alpha_1) \\ R_{\beta, \text{ср}2} &= f(R_{\beta}, \chi, \alpha_2) \end{aligned} \right\} \quad /9/$$

де  $\alpha_1 = h/\ell_{\text{ср}1}$ ,  $\alpha_2 = h/\ell_{\text{ср}2}$ . Очевидно залежності /9/ складать систему рівнянь для визначення невідомих  $R_{\beta}$  і  $R_{\text{ср}}$  по заданим  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  і вимірним в досліді величинами  $R_{\beta, \text{ср}1}$  і  $R_{\beta, \text{ср}2}$ .

При розробці методики було необхідно з'ясувати оптимальні розміри вантажопередавальних пластинок, забезпечуючі необхідну її точність. Тому програма експериментів включала 2 етапи:  
1/ вибір оптимального співвідношення розмірів навантажувачих пластин;

2/ перевірка точності методу при вибраних  $\ell_{\text{ср}1}$  і  $\ell_{\text{ср}2}$ .

На першому етапі випробувались дві групи зразків із бетону одного складу, виключаючи по три куба для визначення опору зминанню при різних розмірах вантажопередавальних пластин  $\ell_{\text{ср}1} = 15$ ,  $\ell_{\text{ср}2} = 37,5$ ,  $\ell_{\text{ср}3} = 50$  і  $\ell_{\text{ср}4} = 75$  мм. Крім названих зразків випробувались призми на стиск і розтяг для прямого визначення міцносних характеристик бетону.

На другому етапі проводились випробування п'яти серій зразків, різнилася складом і міцністю бетону /в практично важливому для застосування діапазоні  $R = 13 \dots 32,8 \text{ МПа}$ /. Кожна група включала 15 зразків:

- три призми  $150 \times 150 \times 600$  мм для випробування на осьовий стиск і прямого визначення характеристик бетону  $R_{\beta}$ ;

- три призми 100x100x600 мм для випробування на осьовий розтяг і прямого визначення характеристики бетону  $R_{bc}$  ;
- три стандартних куба для визначення кубикової міцності бетону  $R$  ;
- три стандартних куба для визначення міцності на зминання  $R_{b,loc1}$  при  $\ell_{loc1} = 15$  мм і три таких же куба для визначення  $R_{b,loc2}$  при  $\ell_{loc2} = 50$  мм.

Третій напрямок експериментів по випробуванню залізобетонних плит на продавлювання в основному переслідував ціль врахування впливу на несучу здатність величини ексцентриситету сили. Передбачалось вивчення слідуєчих питань: а/ виявлення характеру зруйнування плит і визначення руйнуючого навантаження в залежності від величини ексцентриситету продавлювальної сили; б/ дослідження впливу кількості поздовжнього армування на міцність плит

Було виготовлено 8 дослідних зразків, котрі склалися із плитної частини розмірами  $\ell_1$  x  $\ell_2$  і частини колони перерізом 150x200 мм висотою 380 мм з консолю. Плити армувалися звареними сітками із арматури класу А-Ш. Перша серія зразків призначалася для вивчення впливу величини ексцентриситету прикладання поздовжньої сили при постійному армуванні. Друга - кількості поздовжнього армування при постійному ексцентриситеті. Параметри дослідних зразків надаються в таблиці.

Деформації поздовжньої арматури і бетону плити у граней колони вимірювалися автоматичним вимірювачем деформацій АВД-4, який через комутаційний пристрій з'єднувався з датчиками опору базою 20 мм.

Прогини плит і осідання опор в двох взаємно перпендикулярних напрямках вимірювалися з допомогою індикаторів часового типу.

Плити випробувалися на пресі ПГ-500.

Зразки опиралися на контурні рами через 10-ти мм шар цементно-піщаного розчину. Прольоти рами забезпечували вільне продавлювання плит.

В четвертій главі викладені результати проведених експериментальних досліджень.

Спостерігаємий в експериментах характер зруйнування зразків підтвердив прийняті в теоретичних рішеннях кінематично можливі схеми зруйнування.

При кутовому зминанні і зминанні із зміненням від кута поверхня зруйнування складалася із вдох площин зрізу, маючих

Таблиця І

Серія зразка	Шифр	Розміри, см						Армування		Колони	Міцнісні характеристики				
		$l_1$	$l_2$	$h$	$h_0$	$h_k$	$\delta_k$	плити	плити		$E_0$	бетону плити		арматури плити	
		см	см	см	см	см	см	$A_{st} = A_{s2}$	$A_s = A'_s$	см	$R$	$R_b$	$R_{bc}$	$\sigma_{sy}$	$\sigma_{s\delta}$
								$d_s$ , мм	$u_s$ , мм		МПа	МПа	МПа	МПа	МПа

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	ПП-1-1	I05	74,5	14.9	9.5	20	15	∅16	A-III	I05	0.0202	2∅18	A-III	0	18	13.7	1.51	435.6	682.3
	ПП-1-2	I06.5	74.5	14.8	10.7	20	15	∅16	A-III	I05	0.0160	2∅18	A-III	5	18	13.7	1.51	435.6	682.3
	ПП-1-3	I07	75	14.75	10.3	20	15	∅16	A-III	I05	0.0180	2∅25	A-III	10	18	13.7	1.51	435.6	682.3
	ПП-1-4	I06.5	75	15	10.1	20	15	∅16	A-III	I05	0.0190	3∅25	A-III	15	18	13.7	1.51	435.6	682.3
2	ПП-2-3	I06	75	15	10.4	20	15	∅14	A-III	I05	0.0140	2∅25	A-III	10	18	13.7	1.51	457.2	710.2
	ПП-2-4	I05	75	15	10.3	20	15	∅14	A-III	I05	0.0140	3∅25	A-III	15	18	13.7	1.51	457.2	710.2
	ПП-3-3	I05	75	15.3	10.2	20	15	∅18	A-III	I05	0.0240	2∅25	A-III	10	18	13.7	1.51	411.8	621.8
	ПП-3-4	I06	75	15	10.1	20	15	∅18	A-III	I05	0.0240	3∅25	A-III	15	18	13.7	1.51	411.8	621.8

вихід на вільні грані зразку. Спостерігалось також зруйнування по одній площині зрізу, зв'язане з нерівномірністю передачі навантаження і дефектами структури в кутах зразку.

При зминанні біля поздовжнього ребра зразка призми зруйнування відбувалося по поверхні складної форми, яку можна представити трьома перетинаючимися поверхнями. Зруйнування починалося з виколування лешадки біля вільної грані призми і в подальшому охоплювало ділянки зліва і справа від штапу.

При випробуванні зразків на двостороннє зминання-розколювання біля штапів тріщини зсуву виділяли клини ущільнення, кінці яких пізніше з'єднувалися вертикальною тріщиною відриву.

В методиці спільного визначення  $R_{\sigma}$  і  $R_{\sigma\epsilon}$  на основі даних дослідів пропонується прийняти ширину вентажопередаючих пластинок рівними 15 і 50 мм при стандартних кубах.

Виконані експериментальні дослідження залізобетонних плит на продавлювання показали зруйнування всіх зразків по піраміді продавлювання, нижня площина якої обмежена близьким до прямокутника замкнутим контуром з закругленими кутами.

При збільшенні ексцентриситету площа нижньої грані піраміді зменшувалась, причому з трьох сторін ділянки контурної тріщини не змінювали своє положення, переміщувалась лише ділянка тріщини паралельна короткій стороні плити і більш віддалена від точки прикладання навантаження. При центральному продавлюванні на верхній грані плити утворювалась замкнута тріщина по периметру колони. При наявності ексцентриситету спочатку з'являлась тріщина біля короткої грані колони з боку прикладання навантаження, потім тріщини поздовж довгих граней, які не замикались на стороні перерізу колони  $V_k$ . Останнє підтверджувало теоретичну передумову про те, що при позакентровому продавлюванні верхньою основою піраміді є не весь поперечний переріз колони, а деяка його частина. Зруйнування зразків носило плавний характер. Дані тензодатчиків показали, що із збільшенням ексцентриситету граничні відносні деформації бетону плити біля грані колони зі сторони прикладання навантаження збільшувались з  $160 \cdot 10^{-5}$  для  $e_0 = 5$  до  $220 \cdot 10^{-5}$  для  $e_0 = 15$  см, в той час як у протилежній грані деформації зменшувались з  $110 \cdot 10^{-5}$  практично до нульових значень і при  $e_0 = 15$  см змінювали знак. Характер деформацій арматури узгоджується із зміною форми і розмірів нижньої грані піраміді продавлювання. Арматура

включається до роботи при рівні навантаження  $0.4 F/F_{ult}$ .

При  $e_0 = 15$  см окремі стержні досягали стану текучості.

У п'ятій главі проводився аналіз збіжності теоретичної міцності з дослідною по величині відношення  $F^{calc}/F^{test}$ .

Для плоских і масивних бетонних і залізобетонних елементів з різним розташуванням змінюючого навантаження, заснований на образці даних 214 зразків він показав

$\bar{x} = F^{calc}/F^{test} = 0.86 \dots 1.21$  /середнє 1.0/ з коефіцієнтом варіації в межах від 9.5 до 18% /середнє 13%/, що свідчить про достатню близькість теоретичної міцності з дослідною і являється обґрунтуванням застосування варіаційного методу теорії ідеальної пластичності бетону до розв'язання розглянутих типів задач. Разом з тим методика БНП 2.03.01 - 84<sup>\*</sup> істотно недооцінює міцність бетонних елементів при місцевому навантаженні, прикладеному на частині довжини і ширини / $\bar{x} = 0.68$ ,  $C_v = 31,9\%$ / і декілька переоцінює міцність бетонних і залізобетонних елементів, навантажених по всій ширині /відповідно  $\bar{x} = 1.06$ ,  $C_v = 27,6\%$ ;  $\bar{x} = 1,26$ ,  $C_v = 25,5\%$ /.

При перевірці методу сумісного визначення опору стисканню і розтягу результати обробки даних випробування зразків показали середнє відношення міцності на стискання, отриманої по запропонованій методиці  $R_B$  до  $R_B$ , отриманої із прямих випробувань рівним  $0,97$ ,  $C_v = 5\%$ , відповідно для відношення  $R_{Bc}/R_{Bc} = 1.07$  з  $C_v = 10\%$ .

В шостій главі приведені дані про впровадження результатів досліджень автора.

Запропонований "Спосіб визначення міцносних характеристик бетону", на який отримано позитивне рішення Державної патентної експертизи СРСР, впроваджений на Полтавському заводі ЗЕВ Обл-агробуду.

Розроблені "Рекомендації по розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів при місцевому прикладанні стискуючого навантаження" впроваджені у державних проектних інститутах Мисьбудопроект і Укргіпрогеолбуд, а також в проектно-дослідному інституті Полтаваагробуд. Запропоновані рекомендації дозволяють вдосконалити вказані розрахунки і приводять до кращої збіжності теоретичної міцності з дослідною.

1. Розроблений метод розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів при зминанні і продавлюванні на основі загального підходу, дозволяючого вирішувати коло практичних задач, виходячих за рамки випадків, розглянутих в БНіП 2.03.01-84\*.

2. Зовні крихке зруйнування бетонних елементів, що відбувається при невеликих загальних деформаціях, не являється свідченням невикористання передумови про ідеальну пластичність бетону. Визначальним для застосування вказаних передумов являється умова одночасного існування граничного стану в більш крихких /розтягнутих/ і більш пластичних /стиснутих/ зонах руйнування бетону. Умова використання передумов про ідеальну пластичність бетону дотримується, якщо рівень напруження в більш пластичних зонах випереджає рівень в більш крихких. Підтверджена умова використання передумов про ідеальну пластичність бетону.

3. На основі варіаційного методу теорії ідеальної пластичності бетону з використанням розривних функцій швидкостей одержані рішення задач міцності при зминанні плоских і масивних бетонних і залізобетонних елементів при різних положеннях навантаження. Одержані залежності являються більш точними в порівнянні з нормативними за рахунок обліку дійсного напружено-деформованого стану в конкретному випадку зминання. Цей облік здійснюється шляхом відповідної кінематичної схеми зруйнування, що відображає специфіку кожної конкретної задачі і введенням в розрахунок ряду факторів: відношення  $\alpha = h_0 / l_{acc}$ , сил тертя між поверхнею зразку і грузовою площиною, впливом яких БНіП нехтує.

4. Враховується різний характер роботи арматури, розміщеної в областях зон зсуву і відриву бетону елементів при зминанні. Запропонована методика дозволяє враховувати сприймання арматури не тільки осьових, а і поперечних сил.

5. Підтверджена розрахункова схема залізобетонної плити, враховуючи розвиток просторової тріщини відриву піраміди продавлювання, яка утворюється до руйнування бетону стиснутої зони біля контуру площадки прикладання повздовжньої сили.

6. Запропонований розрахунок міцності на продавлювання залізобетонних плит, на відміну від БНіП 2.03.01-84\*, враховує дві характеристики міцності бетону -  $R_b$  і  $R_{bc}$ , вплив кіль-

кості повздовжнього армування і ексцентриситету продавлюючої сили.

7. Теоретична міцність бетонних і залізобетонних елементів при зминанні та продавлюванні, знайдена по запропонованій методиці достатньо добре збігається з дослідною міцністю. Запропонована методика, лякуючи простоті розрахунку і наглядності схем зруйнування, легко засвоюється проектувальниками та студентами, легко реалізується на ПЕОМ.

8. Запропонований метод спільного визначення характеристик міцності бетону на стискання та розтяг із випробувань стандартних кубів на зминання – розколювання, дозволяє зменшити витрати праці, матеріалів та енергії при контролі якості бетону на заводах ЗББ та проведенні науково-дослідних робіт.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Митрофанов В.П., Довженко О.А. Определение предельной нагрузки вариационными методами теории идеальной пластичности железобетона // Механика и физика разрушения композитных материалов и конструкций: Тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума 21-23 сентября. – Ужгород, 1988. – С.56-59.

2. Митрофанов В.П., Довженко О.А. Прочность наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов группы армирования А // Бетон и железобетон – ресурс и энергосберегающие конструкции и технология: Материалы к X Всесоюзной конференции по бетону и железобетону. Казань, октябрь 1988. – К.: НИИСК Госстроя СССР, Украинское республиканское правление НТО, 1988. – С.184-189.

3. Митрофанов В.П., Погребной В.В., Довженко О.А. Расчет некоторых бетонных элементов при срезе со сжатием вариационным методом // Республиканская научно-техническая конференция "Совершенствование бетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций и их внедрение в строительную практику": Тезисы докладов. – Полтава, 1989. – С.132-133.

4. Митрофанов В.П., Погребной В.В., Довженко О.А. Повышение надежности бетонных и железобетонных элементов и конструкций при срезе и продавливании путем совершенствования расчета прочности // Повышение качества, надежности строительства и реконструкции: Тезисы докладов к зональному семинару 23-24 марта 1989. – Пенза: ПИСИ, 1989. – С.45-46.

5. Митрофанов В.П., Довженко О.А. Определение сопротивления сжатию и растяжению из испытаний образцов на раскалывание // Тезисы докладов 42 научной конференции профессоров, преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов института, -Полтава: ПИСИ, Кременчугский дом науки и техники, 1990. - С.125.

6. Митрофанов В.П., Довженко О.А. Развитие деформационной анизотропии бетона при сжатии // Бетон и железобетон. - 1991.- № 10. - С.9-11.

7. Митрофанов В.П., Довженко О.А. О применимости к бетону предпосылки об идеальной пластичности // Тезисы докладов 43 научной конференции профессоров, преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов института. - Полтава: ПИСИ, 1993.- С.243-244.

8. Митрофанов В.П., Довженко О.А. Совершенствование расчета прочности бетонных и железобетонных элементов на местное сжатие// Пути повышения эффективности строительства: Тематический сборник научных трудов. - К.: ИСИО, 1993.- С.47-56.

*Добавь*



№ 28.078  
**АВ 28.078**

Підписано до друку 9.09.93р. Формат 60x84 1/16. Папір друкарський.  
Друк плоский. Умови. друк. арк. 1. Замовлення №1024. Тираж 101 прим.  
Безкоштовно. Дільниця оперативного друку статистичного управління  
Полтавської області. м. Полтава, вул. Пушкіна. 103.