

Сівко В. Й.

Кузьмінець М. П.

Київський національний
університет
будівництва і
архітектури

Sivko V. J.

Kuzminets N. P.

Kyiv National University
of Construction and
Architecture

УДК 666.97.033

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АРМОЦЕМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ У РЕЗУЛЬТАТІ ПОВЕРХНЕВОГО ВІБРОФОРМУВАННЯ

Анотація. Проведені дослідження дозволили визначити основні технологічні параметри ковзного віброштампування тонкостінних конструкцій: оптимальну швидкість формування, величину тягового зусилля, тиск бетонної суміші на штамп, оптимальний кут установки вібратора на робочому органі, необхідну потужність вібратора для ущільнення та оптимальну жорсткість бетонної суміші.

Ключові слова: штамп, віброформування, тиск, напруження, бетонна суміш.

Вступ. Зниження матеріалоемності будівельних конструкцій є однією з найважливіших проблем сучасного будівництва. Таким вимогам відповідають, зокрема, ефективні тонкостінні армоцементні і залізобетонні конструкції. Так при виготовленні збірних перегородок з армоцементних ребристих панелей витрачається в 2,5 рази менше бетону, сталі, а також зменшуються витрати праці на будівельному майданчику. Існують ще більш ефективні панелі-оболонки для склепоподібних будівель сільськогосподарського та промислового призначення, потреба в яких досить значна в різних регіонах країни.

Проблема. Важливою проблемою є підвищення таких показників якості виробів, як щільність бетону і пов'язана з нею довговічність конструкцій. Необхідна щільність бетону, як відомо, може бути досягнута лише при обґрунтованому застосуванні режимів ковзного віброштампування - достатньо ефективного способу поверхневого формування тонкостінних конструкцій.

Аналіз досліджень. З цією метою в КНУБА, спільно та на обладнанні НДІБК, за участю В.П. Овчара, були проведені експериментальні дослідження зміни напружено-деформаційних властивостей дрібнозернистої бетонної суміші з урахуванням її поведінки в ковзному віброштампі формувальних машин.

У цих дослідженнях бетонна суміш розглядається як пружно-пластичне тіло, а ущільнення суміші відбувається за рахунок енергії розповсюджуються хвиль (прямих і поперечних).

Методика випробувань. Готувалася бетонна суміш заданого складу і після зважування поміщалася в жорстку форму робочого органа (рис. 1).

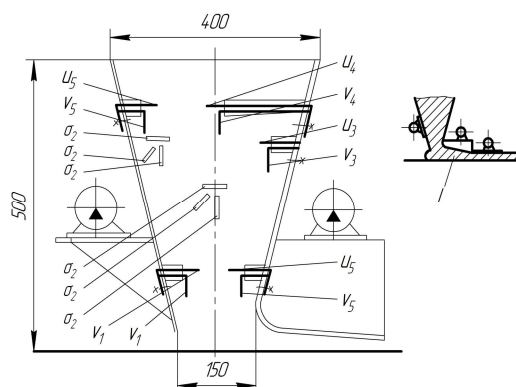
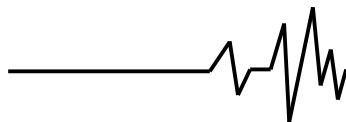


Рис. 1. Схема установки датчиків: u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 – датчики осевого переміщення; V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 – датчики радіального переміщення; σ_1, σ_2 – датчики головних напружень; σ_u, σ_v – датчики осевих і радіальних напружень; σ, σ – датчики дотичних напружень; 1 – схема робочого органа формувальної машини

У процесі заповнення форми в потрібних рівнях установлювалися датчики тиску та переміщення. Після цього формі надавалися задані коливання.

У процесі віброущільнення відбиралися проби бетонної суміші в різних рівнях з метою визначення щільності.

Основні результати. Аналіз результатів проведених досліджень, представлених на рис.



2, показує, що в період вантаження бетонної суміші відбувається її розпушення у всіх зразках як в осьовому, так і в радіальному напрямку. При зворотному русі суміші (розвантаження) відбувається її всебічне стискування.

Порівняння осьових переміщень і переміщень прилеглих до стінки показує, що більше значення переміщень досягається в середині поверхні що формується, а це викликає зміну форми шарів, що рухаються.

У контактній зоні нижньої форми у всіх стиках відзначено, що горизонтальна складова переміщення завжди більше вертикальної, тобто суміш як би стискається в контактній області та завихряється на стику з вертикальною стінкою. Аналогічна картина спостерігається з напруженнями.

Більшого значення осьові напруження досягають в середині форми.

Коефіцієнт бокового тиску ($K_{\sigma} = \sigma_K : \sigma_{II}$) росте в міру опускання суміші до дна форми та змінюється в межах $0,2 \pm 0,5$, при зміні щільності від 1,29 до 1,8 г/см³. Порівняння величини коефіцієнта від частоти коливань робочого органу показали, що такої залежності не спостерігається. Аналогічно спостерігається зростання коефіцієнта при збільшенні водоцементного відношення і при В/Ц=0,42 і більше $K_{\sigma}=0,8 \pm 1,0$, тобто бетонна суміш, наближається по своїх властивостях до в'язкої рідини.

Дослідження зміни напружень радіальних від дії осьових для одного циклу навантаження показали, що характер цієї залежності має вигляд петлі гістерезису. Тобто при розвантаженні швидкість зміни радіальних напружень відстає від швидкості зміни осьових, що пояснюється внутрішнім тертям суміші.

Таблиця 1

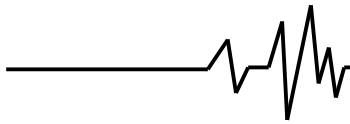
Результати дослідів по напружено-деформаційному стану дрібнозернистої бетонної суміші складу 1:3, В/Ц=0,33

Режим ущільнення	Початкова щільн., г/см ³	Осьове переміщення, мм				Горизонтальне переміщення, мм				Динамічний тиск, 10 ⁻² , Н/см ²			
		u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	σ _u	σ _v	σ ₁	σ ₂
A=0,5 мм n=1500 кол/хв	1,29	-	-	-	-	-	1,91	-	-	185	38,5	-	-
	1,40	-	3,48	-	-	-	2,66	-	-	170	115	-	-
	1,48	-	2,55	-	-	-	1,49	-	-	81,5	57,0	-	-
	1,29	-	0,50	-	0,84	-	0,80	-	0,75	-	-	-	-
	1,40	-	1,00	-	1,03	0,38	0,74	-	-	-	-	-	-
	1,45	0,10	0,56	-	1,13	0,21	0,32	-	0,60	-	-	-	-
	1,46	0,13	1,35	-	1,47	0,52	0,96	-	1,35	-	-	-	-
	1,48	-	1,47	-	-	-	0,48	-	-	115	83,3	-	-
	1,43	0,15	0,75	0,91	-	0,89	0,31	0,22	-	-	53,5	56,0	-
	1,53	0,20	0,85	0,79	-	1,43	0,44	0,30	-	-	14,2	58,5	-
	1,25	0,60	0,80	0,80	-	2,64	0,33	0,37	-	-	18,3	75,0	-
1,35	0,35	0,65	0,75	-	2,00	0,48	0,22	-	-	14,1	61,0	-	
1,38	0,27	0,43	0,61	-	1,20	0,63	0,22	-	-	7,1	32,8	-	
A=0,5 мм n=2340 кол/хв	1,41	2,60	3,40	2,38	-	3,70	1,33	0,90	-	46,2	31,0	105,0	-
	0,55	0,55	0,20	-	-	0,86	0,37	-	-	4,6*	3,9*	-	-
	-	1,40	0,80	-	-	3,00	0,81	-	-	20,6	16,9	-	-
	-	-0,75	-0,50	-	-	-1,50	-0,44	-	-	-26,8	-11,3	-	-
	-	-1,25	-1,10	-	-	-2,70	-1,11	-	-	-36,6**	-18,3**	-	-
	-	-2,60	-3,40	-2,38	-	-3,70	-1,33	-0,90	-	-46,2	-31,0	-105	-
	1,47	2,10	3,80	2,42	-	3,78	2,37	0,75	-	-	52,2	117	-
	1,51	1,95	3,30	2,75	-	3,86	2,11	0,82	-	-	50,7	129	-
1,62	-	2,65	2,58	-	3,86	1,11	1,35	-	-	52,2	138	-	
A=0,5 мм n=3000 кол/хв	1,66	2,37	0,39	1,96	-	1,80	0,96	0,65	-	-	-	150	-

Примітка: * навантажування; ** розвантаження.

Більш повне уявлення про напружений стан процесу формування можна отримати шляхом знаходження напружень і деформацій на похилих площадках. З цією метою використано в цьому дослідженні графічне

визначення зазначених параметрів за допомогою кіл Мора. При порівнянні напрямків головних напружень і головних подовжень відзначено, що має місце значний зсув в їх



напрямах. Кут зміщення коливається в межах $24 \div 30$.

Наявність кута зсуву між напруженнями й деформаціями говорить про те, що бетонна суміш у робочому органі рухається не строго вертикальна вниз до форми, а цей рух здійснюється але деяким похилим площадкам. На (рис. 3) побудована наближена картина розподілу головних напружень і подовжень у процесі одного циклу навантаження й розвантаження суміші состава 1:3 В/Ц=0,3.

Напруження σ_x і σ_y є головними (відповідно σ_1 й σ_2) лише в середині робочого органа при $y=0$. На бічний борт бункера діє не менша головна напруження σ_2 , а напруження $\sigma_x > \sigma_y$. На тому ж малюнку зображені також траєкторії головних подовжень, зміщені по відношенню до головних напружень на кут $y = \beta - x$.

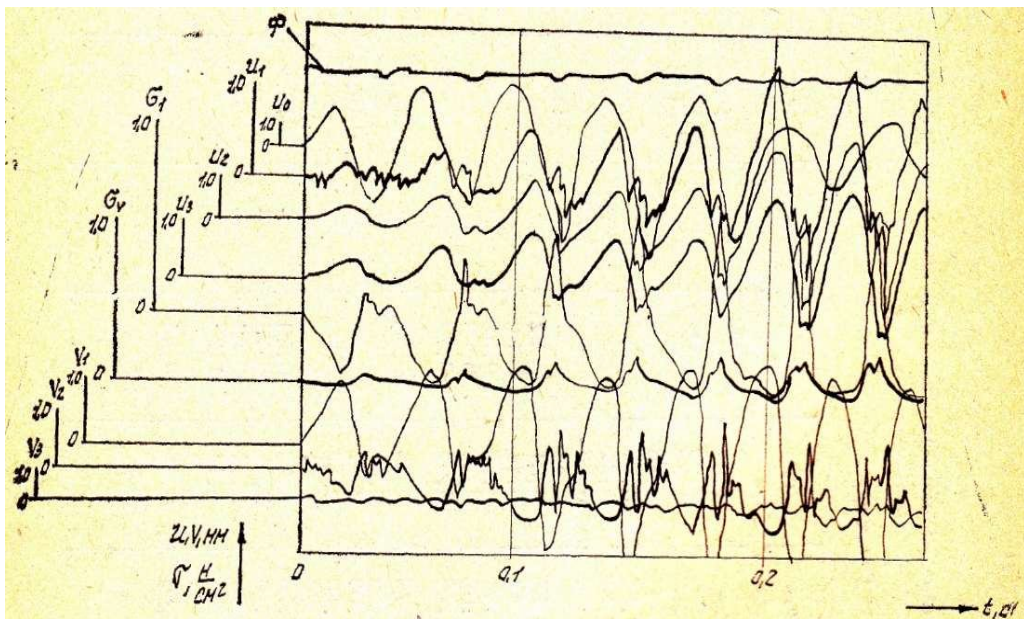


Рис. 2. Типова осцилограма

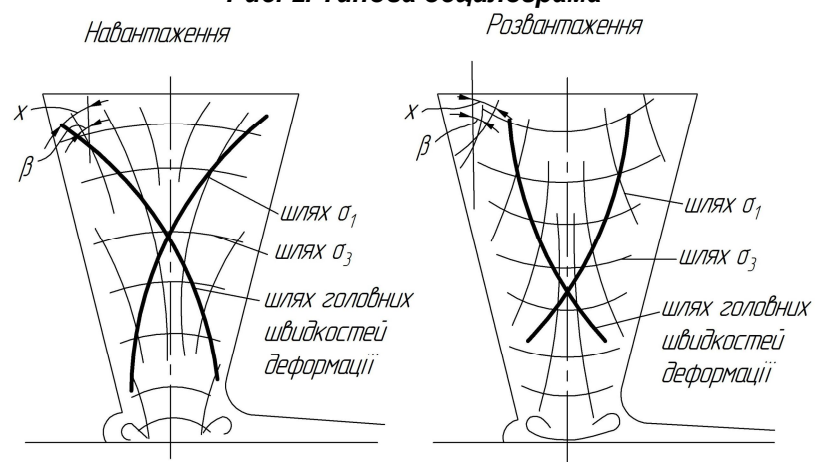
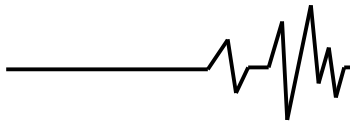


Рис. 3. Характер розподілу головних напружень і деформацій для одного циклу руху

На підставі отриманих записів процесу віброформування бетонної суміші представляється можливим оцінити взаємозв'язок між змушуючим впливом вібратора і властивостями середовища, а також забезпечити швидке просування суміші під віброштамп. У процесі віброформування усередині бункера відбуваються структурні зміни бетонної суміші в міру її просування від верху до

штампа, завдяки яким суміш перетворюється до текучу рідину й ущільнюється. Аналіз кіл напружень показує, що в процесі віброущільнення руйнування структури бетонної суміші досягається при різних сполученнях головних напружень (нормальних і дотичних).

Для всякої точки, що лежить всередині кола напружень, поєднання дотичних і нормальних напружень буде відповідати



стійкому стану по відношенню до структури суміші, досягнутої завдяки попередньому впливу. Якщо ж напруження σ_1 , σ_2 і τ досягають таких величин, що викликають граничний напружений стан, при якому відбувається порушення міцності, то відповідний коло напружень для даної структури бетонної суміші буде граничним.

Після руйнування структури встановлюється нова рівновага між змушуючим впливом і відповідним йому поєднанням головних нормальних і дотичних напружень. Новій структурі буде відповідати новий круг напружень. Таким чином від точки до точки описується петля, визначає залежність між об'ємною деформацією і напруженням в процесі одного циклу навантажування. При наступному циклі процес повторюється при більш високому напруженні.

На основі побудованих кіл Мора можна провести огинаючу напружень, відповідних всьому процесу віброущільнення (рис. 4).

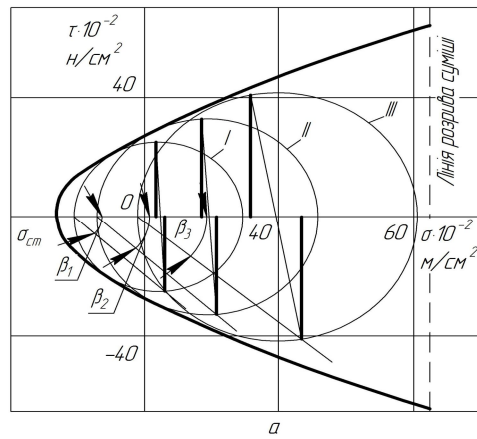


Рис. 4. Динамічна крива граничних напружень зсуву

Огинаюча напружень при навантаженні бетонної суміші перетинає вісь σ у точці $\sigma_{ст}$, відповідної всебічному стиску суміші. Дійсно, в вершині обвідна кіл звертається в точку. З протилежного боку гранична крива обірветься при розриві суміші завдяки розтягуванню.

Таким чином, огинаюча напружень є критерієм руйнування структури бетонної суміші і є геометричним місцем точок дотичних, відповідних колам в площині $\sigma - \tau$, утвореними максимальними різницями головних напружень, при яких відбуватиметься руйнування структури робочого середовища.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють визначити основні технологічні параметри ковзного віброштампування тонкостінних конструкцій, такі як:

1. Оптимальна швидкість формувань (0,131 м/с), відповідна швидкості осьових переміщень.
2. Величина тягового зусилля (12,1 кН) – по граничним дотичним напруженням.
3. Тиск бетонної суміші на штамп (0,021 МПа).
4. Величина підйомної сили (4,8 кН) – по напруженням на контакті зі штампом.
5. Оптимальний кут установки вібратора на робочому органі (-3°) – по швидкості осідання суміші.
6. Необхідна потужність вібратора для ущільнення (0,6 кВт) – по площі петлі «напруження - деформація» бетонної суміші. Оптимальна, за інших заданих параметрах, жорсткість бетонної суміші (30 с).

Список використаних джерел

1. Прикладна механіка робочих процесів машин: Монографія / Сівко В.І., Кузьмінець М.П. – К. : НТУ, 2009, – 349 с.

Список джерел в транслітерації

1. Prykladna mekhanika robochykh protsesiv mashyn: Monohrafiya / Sivko V.Y., Kuzminets M.P. – K. : NTU, 2009, – 349 s.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АРМОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ВИБРОФОРМИРОВАНИЯ

Аннотация. Выполненные исследования позволили определить основные технологические параметры скользящего виброштампования тонкостенных конструкций: оптимальную скорость формирования, величину тягового усилия, давление бетонной смеси на штамп, оптимальный угол установки вибратора на рабочем органе, необходимую мощность вибратора для уплотнения и оптимальную жесткость бетонной смеси.

Ключевые слова: штамп, виброформирование, давление, напряжение, бетонная смесь.

STRESS-STRAIN STATE OF CONSTRUCTION IN THE PROCESS OF VIBRO-COMPACTING

Annotation. The executed researches allowed to define the basic technological parameters of the sliding oscillation punching of the thin-walled constructions: optimum speed of forming, size of hauling effort, pressure of concrete mixture on a stamp, optimum corner of setting of vibrator on a working organ, necessary power of vibrator for a compression and optimum inflexibility of concrete mixture.

Key words: stamp, oscillation forming, pressure, tension, concrete mixture.