ВПЛИВ ФОРМИ НАКОНЕЧНИКА ГЛИБИННОГО ВІБРАТОРА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ

Микола Нестеренко, доцент, к.т.н., доцент[1] (ORCID: 0000-0002-4073-1233),
Володимир Гавріков, аспірант[1] (ORCID: 0009-0007-6893-7739)
[1]Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка 24, 36011, Україна

АНОТАЦІЯ. *У роботі розглянуто вплив форми наконечника глибинного вібратора на ефективність ущільнення бетонної суміші. Обґрунтовано, що робочий орган глибинного вібратора взаємодіє безпосередньо з внутрішнім об'ємом суміші, тому його геометрія істотно впливає на характер передавання вібраційної енергії, формування зони ущільнення, переміщення частинок заповнювача та видалення повітряних включень. Проаналізовано доцільність застосування наконечників різної форми: циліндричної, конічної, заокругленої, ребристої та спеціальної форми з каналами для локального введення рідких компонентів. Показано, що раціональна форма наконечника повинна забезпечувати достатню інтенсивність вібраційного впливу, рівномірне поширення коливань у бетонній суміші, зменшення застійних зон і мінімізацію ризику розшарування. Встановлено, що вдосконалення геометрії наконечника є одним із перспективних напрямів підвищення якості ущільнення бетонних сумішей, особливо у густоармованих конструкціях, виробах складної форми та при роботі з жорсткими або малорухомими сумішами. Матеріал узгоджується з попередніми дослідженнями динаміки глибинного вібратора та систем локальної подачі компонентів у зону вібраційного ущільнення.*

Ключові слова: *глибинний вібратор; наконечник; бетонна суміш; ущільнення; вібраційний вплив; робочий орган; форма наконечника; зона ущільнення; дебалансний віброзбуджувач; однорідність бетону; розшарування.*

Вступ. Глибинні вібратори широко застосовуються для ущільнення бетонних сумішей під час виготовлення монолітних і збірних залізобетонних конструкцій. На відміну від поверхневого вібраційного обладнання, глибинний вібратор занурюється безпосередньо в об'єм суміші та створює локальну зону інтенсивної дії, у якій зменшується внутрішнє тертя між частинками, руйнуються слабкі структурні зв'язки, видаляються повітряні включення та формується щільніша структура бетону .

Ефективність роботи глибинного вібратора визначається не лише частотою обертання дебалансного вала та амплітудою коливань, а й характером просторового руху корпуса, співвідношенням поступальних і кутових коливань, умовами взаємодії робочого органа з бетонною сумішшю та формою наконечника . Саме наконечник безпосередньо контактує з матеріалом і визначає характер передавання вібраційної енергії в навколишній об'єм суміші.

Форма наконечника впливає на розміри активної зони ущільнення, інтенсивність переміщення частинок заповнювача, швидкість видалення повітряних включень і ймовірність утворення локальних зон недостатнього ущільнення. Циліндричні, конічні, заокруглені, ребристі або спеціальні наконечники з каналами для подачі рідких компонентів можуть по-різному впливати на характер руху бетонної суміші та рівномірність її ущільнення. Зокрема, використання насадок для локального введення цементного молочка або модифікуючих компонентів дає можливість подавати активну рідку фазу безпосередньо в зону найбільш інтенсивного вібраційного впливу

Аналіз літературних джерел. У сучасних дослідженнях глибинного вібраційного ущільнення бетонних сумішей значна увага приділяється не лише амплітудно-частотним параметрам вібратора, а й характеру взаємодії робочого органа з бетонною сумішшю. У роботі [1] розглянуто систему локальної подачі модифікуючих компонентів у зону вібраційного ущільнення, що є важливим для теми різних типів наконечників, оскільки спеціальна насадка може не тільки передавати коливання, а й забезпечувати введення рідкої фази безпосередньо в активну зону дії глибинного вібратора.

У праці [2] досліджено динаміку глибинного вібратора з урахуванням поступального та кутового руху робочого органа. Це джерело є базовим для обґрунтування того, що форма

наконечника повинна розглядатися не ізольовано, а разом із просторовою траєкторією руху корпуса, дією дебалансного віброзбуджувача та передаванням вібраційної енергії в бетонну суміш.

Важливе значення для вибору форми наконечника має поняття радіуса дії глибинного вібратора. У роботі [3] запропоновано підхід до прогнозування радіуса дії покерного вібратора на основі поширення хвиль у свіжому бетоні. Це дозволяє оцінювати, як конструктивні особливості робочого органа можуть впливати на ефективну зону ущільнення.

У дослідженні [4] проаналізовано вплив покерного вібрування на осідання заповнювача у свіжому бетоні з різними реологічними властивостями.

Мета роботи. Метою роботи є обґрунтування впливу форми наконечника глибинного вібратора на ефективність ущільнення бетонної суміші. Передбачається проаналізувати особливості взаємодії різних типів наконечників із бетонною сумішшю, визначити їх вплив на передавання вібраційної енергії, формування активної зони ущільнення, переміщення частинок заповнювача та видалення повітряних включень. Особливу увагу приділено вибору такої геометрії наконечника, яка забезпечує рівномірне поширення коливань у суміші, зменшення застійних зон, мінімізацію ризику розшарування та підвищення якості сформованої структури бетону.

Виклад основного матеріалу. Глибинний вібратор під час ущільнення занурюється безпосередньо в об’єм бетонної суміші та передає їй коливальну енергію через поверхню робочого органа. Найбільш інтенсивна взаємодія відбувається в зоні наконечника, оскільки саме ця частина першою контактує із сумішшю під час занурення, формує напрям локального переміщення частинок і впливає на характер поширення вібраційної дії. Тому форма наконечника є важливим конструктивним параметром, який визначає не лише зручність занурення вібратора, а й якість ущільнення бетонної суміші.

У загальному випадку робочий орган глибинного вібратора можна розглядати як коливальну систему, що взаємодіє з в’язкопластичним середовищем. Під дією дебалансного віброзбуджувача корпус здійснює складний просторовий рух, який поєднує поступальні та кутові коливання. У результаті бетонна суміш навколо вібратора переходить у більш рухомий стан, зменшується внутрішнє тертя між частинками, полегшується переміщення цементного тіста та заповнювача, а повітряні включення витісняються до поверхні. Водночас ефективність цього процесу залежить від того, наскільки рівномірно вібраційна енергія передається в навколишній об’єм суміші [2].

Найпоширенішим є циліндричний наконечник, який має просту форму, є технологічним у виготовленні та забезпечує рівномірний контакт із бетонною сумішшю по боковій поверхні. Така форма є універсальною і може застосовуватися для більшості бетонних сумішей середньої рухливості.

Конічний наконечник має перевагу під час занурення в бетонну суміш, оскільки зменшує початковий опір входження робочого органа в матеріал. Така форма сприяє розсуванню частинок суміші та може бути доцільною для ущільнення густоармованих конструкцій або виробів складної форми. Водночас надмірно гостра конічна частина може створювати локально спрямований вплив, що потребує обґрунтування кута конусності для запобігання нерівномірному ущільненню.

Заокруглений або сферичний наконечник забезпечує більш плавну взаємодію з бетонною сумішшю. Він зменшує локальні концентрації напружень у зоні контакту, сприяє рівномірнішому обтіканню робочого органа сумішшю та знижує ймовірність утворення застійних зон біля нижньої частини вібратора. Така форма може бути ефективною у випадках, коли необхідно забезпечити м’яке, але рівномірне передавання коливань у навколишній об’єм матеріалу.

Ребристий або профільований наконечник дозволяє підвищити інтенсивність взаємодії з бетонною сумішшю за рахунок збільшення площі контакту та створення додаткових локальних зсувних деформацій. Під час коливань ребра сприяють активнішому переміщенню частинок заповнювача й цементного тіста, що може підвищувати ефективність ущільнення. Проте така форма має застосовуватися обережно, оскільки надмірна інтенсивність дії може спричинити розшарування суміші або осідання крупного заповнювача, особливо за тривалого вібрування [4].

Окремий інтерес становлять спеціальні наконечники з каналами або жиклерами для локального введення цементного молочка чи рідких модифікуючих компонентів у зону ущільнення. У цьому випадку наконечник виконує подвійну функцію: передає вібраційну енергію та забезпечує

дозовану подачу активної рідкої фази безпосередньо в зону інтенсивного переміщення частинок. Такий підхід може бути корисним для жорстких, малорухомих або неоднорідних сумішей, де звичайне вібрування не завжди забезпечує достатнє змочування заповнювача та рівномірний розподіл цементного тіста [1].

Порівняння різних типів наконечників показує, що їх ефективність залежить від умов роботи. Для універсального застосування доцільним є циліндричний або заокруглений наконечник. Для полегшення занурення у щільну або жорстку суміш перевагу може мати конічна форма. Для інтенсифікації локального переміщення суміші можуть застосовуватися ребристі або профільовані наконечники. Для спеціальних технологічних задач, пов’язаних із покращенням структури бетону в локальних зонах, перспективними є наконечники з каналами для подачі рідких компонентів.

Висновки. У роботі розглянуто вплив форми наконечника глибинного вібратора на ефективність ущільнення бетонної суміші. Встановлено, що наконечник є одним із важливих конструктивних елементів робочого органа, оскільки саме через нього відбувається початкова взаємодія вібратора з бетонною сумішшю, передавання коливальної енергії та формування локальної зони ущільнення.

Показано, що різні форми наконечників по-різному впливають на процес ущільнення. Циліндричний наконечник є найбільш універсальним і забезпечує стабільне передавання вібраційної дії. Конічна форма полегшує занурення робочого органа в жорсткі та малорухомі суміші. Заокруглений наконечник сприяє більш плавній взаємодії з матеріалом і зменшує ймовірність утворення застійних зон. Ребристі або профільовані наконечники можуть інтенсифікувати локальне переміщення суміші, однак потребують обґрунтованого вибору режимів роботи для запобігання розшаруванню.

Список використаних джерел

1. Havrikov, V. V., & Buhrova, T. M. (2026). Lokalna podacha modyfikuiuchykh komponentiv u zonu vibratsiinoho ushchilnennia betonnoi sumishi [Local supply of modifying components into the vibration compaction zone of a concrete mixture]. System Technologies, 4(165), 175–183 https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-165-2026-16 [in Ukrainian].
2. Havrikov, V., & Buhrova, T. (2026). Dynamics of an internal vibrator considering the translational and angular motion of the working body. Modern Problems of Metallurgy, (29), 337–351. https://doi.org/10.34185/1991-7848.2026.01.22
3. Banfill, P. F. G., Teixeira, M. A. O. M., & Craik, R. J. M. (2011). Rheology and vibration of fresh concrete: Predicting the radius of action of poker vibrators from wave propagation. Cement and Concrete Research, 41(9), 932–941. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.04.011
4. Zhang, J., Gao, X., & Su, Y. (2019). Influence of poker vibration on aggregate settlement in fresh concrete with variable rheological properties. Journal of Materials in Civil Engineering, 31(7), Article 04019128. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002782