

РАЗРАБОТКА ПЛОСКОСТНОГО ГЛУБИННОГО УПЛОТНИТЕЛЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**Жанар Батсайхан**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, м. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kmt0.43@gmail.com

На основе анализа существующих конструкций и способов уплотнения бетонных смесей глубинными вибраторами предложен плоскостной глубинный уплотнитель, состоящий из вертикальной влиты, на верхней части которой смонтирован вибровозбудитель круговых колебаний. Определены рациональные параметры плоскостного глубинного уплотнителя. Проведенными исследованиями установлены основные параметры вибрационного воздействия на уплотняемую среду в виде переменного амплитудно-частотного деформирования уплотняемой среды. Показана эффективность вибрационного уплотнения пластичных с осадкой конуса ОК-3,5 – 4 см смесей и жестких смесей жесткостью $J=30 - 120$ с. Приведенные результаты исследований позволяют обосновать рациональные параметры плоскостного глубинного уплотнителя, совершающего пространственные колебания, и режимы вибрационного воздействия на бетонные смеси различной консистенции.

Ключевые слова: плоскостной глубинный уплотнитель, бетонная смесь, вибрационное уплотнение.**РОЗРОБКА ПЛОЩИННОГО ГЛУБИННОГО УЩІЛЬНЮВАЧА БЕТОННИХ СУМІШЕЙ****Жанар Батсайхан**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kmt0.43@gmail.com

Проведено аналіз існуючих конструкцій і способів ущільнення бетонних сумішей глибинними вібраторами, визначені їх позитивні і негативні властивості. Запропонована нова конструкція площинного глибинного ущільнювача, що складається з занурюваної в бетонну суміш вертикальної влити, на якій за допомогою кронштейна, закріпленого в її верхній частині, змонтовано вібровозбудувач кругових коливань. Описана конструкція компактного і малоенергоємного вібровозбудувача кругових коливань з монолітним дебалансним валом, вихідний кінець якого пов'язаний за допомогою втулкової муфти і гнучкого вала з приводом. Описані робота і принцип дії запропонованого площинного глибинного ущільнювача. Показано основи принципу способу ущільнення бетонної суміші змінним амплітудно-частотним деформуванням бетонної суміші, що виникає при просторових коливаннях запропонованого площинного глибинного ущільнювача. Наведено технічні характеристики площинного глибинного ущільнювача, що використовується для ущільнення бетонних сумішей. Графічно представлено і проаналізовано зміни амплітуди коливань глибинного площинного віброущільнювача і амплітуди напруг, що виникають у бетонному середовищі різної консистенції у місці його контакту з глибинним вібраційним ущільнювачем залежно від висоти слою бетонної суміші. Показано зміну амплітуди коливань і амплітуди напруг у бетонному середовищі різної консистенції залежно від відстані до джерела вібрації. Проведеними дослідженнями встановлені основні параметри вібраційного впливу на ущільнюоче середовище у вигляді змінного амплітудно-частотного деформування ущільнюючого середовища. Показано ефективність вібраційного ущільнення пластичних з осадкою конуса ОК-3,5 – 4 см сумішей і жорстких сумішей жорсткістю $J=30 - 120$ с. Наведено результати досліджень дозволяють обґрунтувати раціональні параметри площинного глибинного ущільнювача, що здійснює просторові коливання, і режими вібраційного впливу на бетонні суміші різної консистенції. Наведені чисельні значення необхідної тривалості вібраційного процесу ущільнення бетонних сумішей різної консистенції залежно від ширини оброблюваного об'єму.

Ключові слова: площинний глибинний ущільнювач, бетонна суміш, вібраційне ущільнення.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Внутреннее (глубинное) вибрирование бетонных смесей вибратором, является наименее энергоемким в сравнении с другими методами уплотнения, поскольку погружаемая в уплотняемую среду часть вибратора непосредственно передает ей вибрационное воздействие с минимальными энергетическими затратами. Для этих целей используют глубинные вибраторы [1–4] с диаметром булав (наконечника) от 36 до 76 мм. Для технологического оборудования используются навесные глубинные вибраторы с диаметром наконечника от 75 до 133 мм. Эти вибраторы обычно обеспечивают уплотнение бетонной смеси в радиусе от 200 до 300 мм в зависимости от диаметра наконечника и подвижности бетонной смеси. Для комплексной механизации процесса уплотнения бетонных смесей используют глубинные вибраторы, собранные в пакеты и имеющие индивидуальные приводы [5]. Эти устройства имеют достаточно слож-

ную конструкцию и используются при очень больших объемах бетонирования.

Для увеличения эффективности вибрирования был предложен плоскостной глубинный уплотнитель [6], выполненный в виде вертикальной плоской плиты, на которой смонтированы два глубинных вибратора с индивидуальным приводом каждого. Из-за большого веса этот глубинный уплотнитель не мог использоваться в строительном производстве в качестве ручного механизма, не была исследована эффективность его использования и, вследствие этого, он не получил широкого применения.

Необходимо отметить, что все глубинные вибраторы снабжаются планетарными вибраторами вибровозбудителями колебаний, которые быстро выходят из строя [7].

Поэтому создание высокотехнологичного глубинного уплотнителя, имеющего простую конструкцию, высокую надежность и обеспечивающего

уплотнение бетонных смесей различной консистенции, является актуальной задачей.

Цель работы – разработка высокоэффективного плоскостного глубинного вибрационного уплотнителя бетонных смесей различной консистенции.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. На основании предварительно проведенных теоретических исследований [8–10] был разработан плоскостной глубинный уплотнитель, снабженный вибровозбудителем круговых колебаний (рис. 1 – 2).

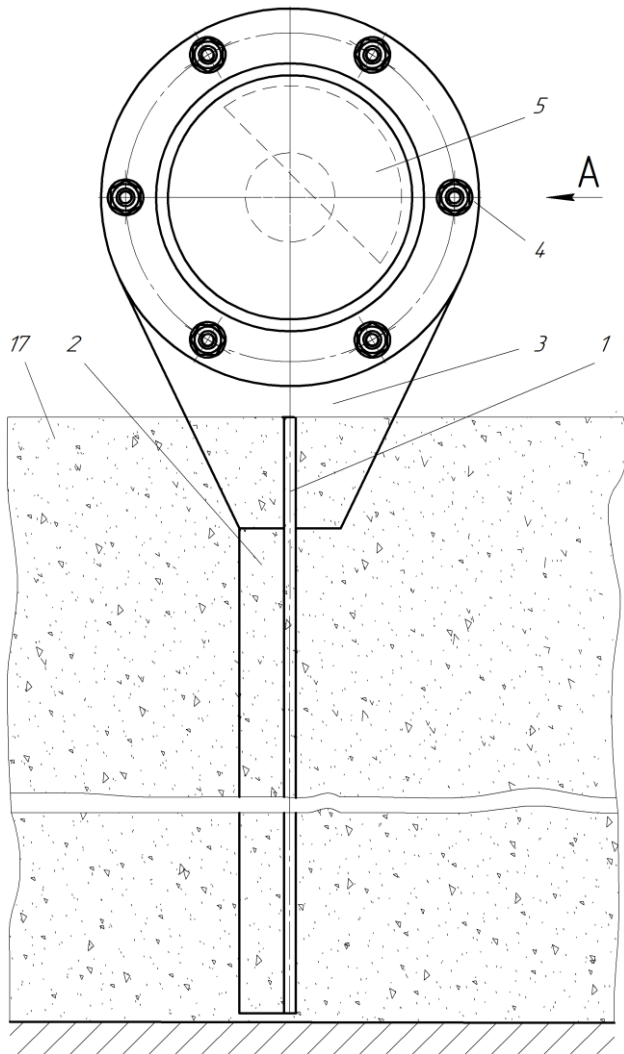


Рисунок 1 – Общий вид плоскостного глубинного уплотнителя

Предлагаемый плоскостной глубинный уплотнитель состоит из уплотняющей плиты, выполненной в виде вертикальной плиты 1 с ребром жесткости 2, кронштейна 3, жестко связанного с плитой 1, и закрепленного на этом кронштейне при помощи резьбовых соединений 4 вибровозбудителя круговых колебаний 5. Вибровозбудитель круговых колебаний состоит из корпуса 6, внутри которого установлены глухое 7 и проходное 8 гнезда, в которых при помощи подшипников 9 и 10 смонтирован дебалансный вал 11. Гнезда 7 и 8 закреплены в корпусе 6 при помощи винтов 12. Дебалансный вал 11 выполнен монолитным и его выходной конец при по-

мощи втулочной муфты 13 соединен с гибким валом 14, который связан с приводным электродвигателем (на рисунке не показан). Гибкий вал 14 помещен в гибком герметичном кожухе 15, фланец которого закреплен на проходном гнезде 8 при помощи винтов 16.

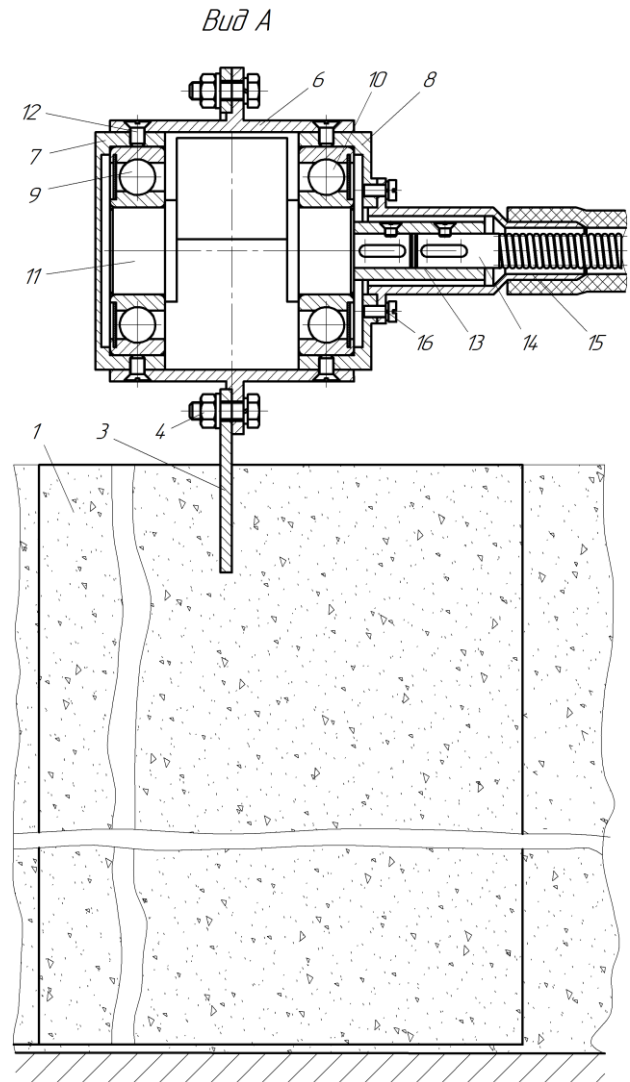


Рисунок 2 – Общий вид плоскостного глубинного уплотнителя (вид А на рис. 1)

Работа плоскостного глубинного уплотнителя осуществляется следующим образом.

Включают плоскостной глубинный уплотнитель и вводят вертикальную плиту 1 в бетонную смесь 17, уложенную ровным слоем. При этом под действием вибровозбудителя круговых колебаний 5 вертикальная плита совершает сложные движения, которые вызывают в уплотняемой среде упруго вязкопластические волны деформаций с достаточно высокой частотой. Эти деформации вызывают предельное разрушение структурных связей в бетонной смеси и переводят ее в тиксотропное состояние, приводят к интенсивной переориентации минеральных частиц, вытеснению воздуха и образованию более плотной упаковки.

На характер колебаний рассматриваемой динамической системы и эффективность вибрационного

уплотнения уложенной смеси существенное влияние оказывают масса и момент инерции плоскостного глубинного уплотнителя, площадь взаимодействия вертикальной плиты с бетонной смесью, частота и амплитуда возмущающей силы вибровозбудителя колебаний, координаты центра тяжести колеблющейся массы, расстояние от вибровозбудителя круговых колебаний до центра тяжести колеблющейся массы, физико-механические характеристики смеси и толщина уплотняемого слоя. Колеблющаяся масса состоит из приведенной массы бетонной смеси и массы плоскостного глубинного уплотнителя.

К основным параметрам и показателям эффективности работы плоскостного глубинного уплотнителя, относятся:

- масса плоскостного глубинного уплотнителя;
- смещение центра тяжести колеблющейся массы относительно уплотняемой поверхности бетонной смеси;
- момент инерции колеблющейся массы относительно ее центра тяжести;
- смещение в вертикальном направлении оси вибровозбудителя колебаний относительно центра тяжести колеблющейся массы;
- частота и амплитуда вынужденных колебаний вертикальной плиты;
- амплитуда возмущающей силы вибровозбудителя круговых колебаний;
- законы колебаний уплотняющей поверхности вертикальной плиты;
- напряжения, возникающие в уплотняемом слое;
- продолжительность уплотнения;
- производительность;
- мощность привода.

Поскольку частота и амплитуда вынужденных колебаний вертикальной плиты, непосредственно влияют на качество и обеспечивают необходимую плотность уплотняемого изделия, то в процессе исследований уточнялись рациональные параметры, закон и области устойчивого движения плоскостного глубинного уплотнителя, обеспечивающие получение высокопроизводительного технологического режима с низкой энергоемкостью.

Для этого был разработан и использовался глубинный плоскостной уплотнитель со следующими основными параметрами: масса глубинного уплотнителя – $m=4,93$ кг; амплитуда возмущающей силы вибровозбудителя колебаний – $Q=0,981$ кН (100 кг); угловая частота вынужденных колебаний – $\omega=292$ рад/с; расстояние от центра тяжести глубинного вибровозбудителя до верхней кромки вертикальной плиты – $r_1=2,85$ см; момент инерции глубинного виброуплотнителя относительно оси, проходящей через центр тяжести – $J_y=0,0365$ кг·м²; высота вертикальной плиты – $H=20$ см; ширина виброплиты – $B=20$ см; площадь поверхности вертикальной плиты, взаимодействующая с бетонной смесью (при двухстороннем контакте) – $F=800$ см².

В результате поведенных исследований было установлено, что вертикальная плита предлагаемого плоскостного глубинного виброуплотнителя совершает при работе пространственные колебания и обеспечивает тем самым эффективное уплотнение бетонной смеси переменным амплитудно-частотным воздействием. Такое вибрационное воздействие вызывает в уплотняемой среде нормальные напряжения в горизонтальной плоскости, которые являются определяющими в разрушении структурных связей и переводу бетонной смеси в текучее состояние. При этом резко уменьшаются силы внутреннего трения в смеси за счет выделения в межзерновое пространство свободной воды, играющей роль смазки [9]. Происходит вытеснение из уплотняемой смеси воздуха, обеспечивается переориентация минеральных частиц и их сближение с образованием более плотной упаковки.

Произведем анализ полученных функциональных зависимостей процесса уплотнения бетонной среды, представленной в виде полупространства.

На рис. 3 показаны изменения амплитуды колебаний вертикальной плиты глубинного виброуплотнителя A и напряжений σ , возникающих в бетонной среде различной консистенции в месте контакта бетонной смеси с вертикальной плитой по ее высоте, т.е. от верхней кромки вертикальной плиты до ее нижней кромки. При этом на рис. 3 начало координат по высоте вертикальной плиты совмещено с ее верхней кромкой.

Анализ приведенных данных (рис. 3), полученных для заключительного процесса уплотнения, т.е. при полном уплотнении бетонной смеси до коэффициента плотности ρ_k , показывает, что в процессе вибрационного уплотнения предлагаемым плоскостным уплотнителем на бетонную смесь действует переменное амплитудно-частотное вибрационное воздействие по высоте, создаваемое одновременно действующими прямолинейными и крутильными колебаниями вертикальной плиты. По мере удаления от источника вибрации амплитуды колебаний уплотняемой среды и напряжений в ней уменьшаются и несколько сглаживаются (рис. 4). Именно такой не однозначный характер вибрационного воздействия на бетонную среду способствует эффективному разрушению внутренних связей в бетонной смеси, переориентации минеральных частиц и вытеснению воздуха с образованием более плотной упаковки.

Полученные показатели определяют величину энергии, закачиваемой в бетонную среду глубинным плоскостным виброуплотнителем, и позволяют установить закон нарастания плотности бетонной среды в процессе ее уплотнения вибрационным воздействием. Они также позволяют определить необходимую продолжительность вибрационного воздействия в зависимости от средних значений амплитуд колебаний и напряжений в бетонной среде, консистенции бетонной смеси и расстояния, на которое распространяются волны упругопластических деформаций, обеспечивающих необходимое уплотнение.

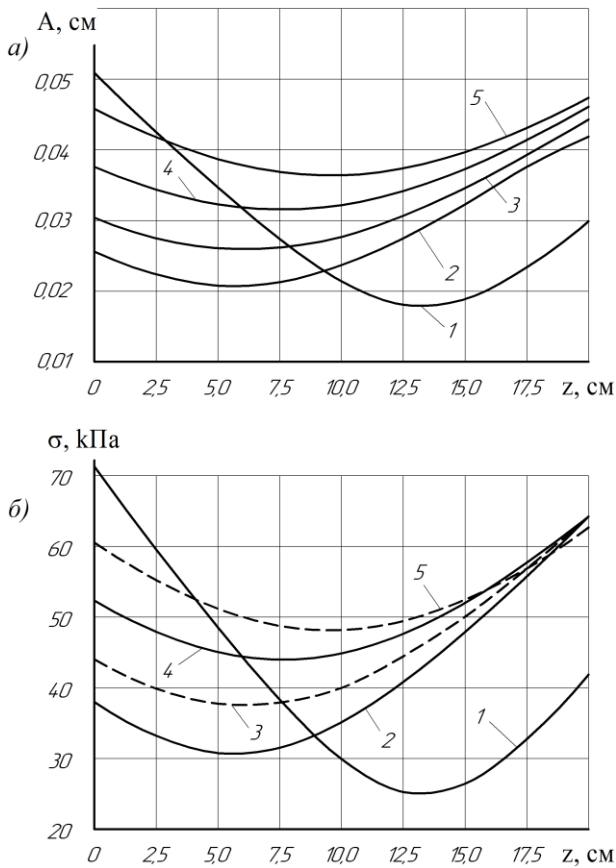


Рисунок 3 – Изменения амплитуд перемещений A и напряжений σ , возникающих в бетонной среде различной консистенции в месте ее контакта с плоскостным глубинным виброуплотнителем в зависимости от координаты по высоте вертикальной плиты: 1 – при осадке конуса 3,5 – 4 см; 2 – при жесткости смеси $Ж=30$ с; 3 – при $Ж=60$ с; 4 – при $Ж=90$ с; 5 – при $Ж=120$ с

В табл. 1 представлены значения необходимой продолжительности уплотнения бетонных смесей различной консистенции при длине вибрационной обработки $x=80$ см. Общая длина виброобработки составляет 160 см, т.к. вибрационная обработка осуществляется одновременно, как передней стенкой, так задней стенкой плоскостного виброуплотнителя.

Сравнение данных, приведенных в работе [8] и в табл. 1 показывает, что при одинаковой возмущающей силе предлагаемый плоскостной вибрационный глубинный уплотнитель, совершающий одновременно прямолинейные и крутильные колебания, более эффективный, чем плоскостной вибрационный глубинный уплотнитель, совершающий только прямолинейные колебания. Использование прямолинейных и крутильных колебаний позволяет повысить производительность плоскостного глубинного виброуплотнителя в 1,62 – 2,32 раза при уплотнении пластичных и умеренно жестких бетонных смесей и в 1,35 – 1,38 при уплотнении жестких бетонных смесей жесткостью 60 – 90 с.

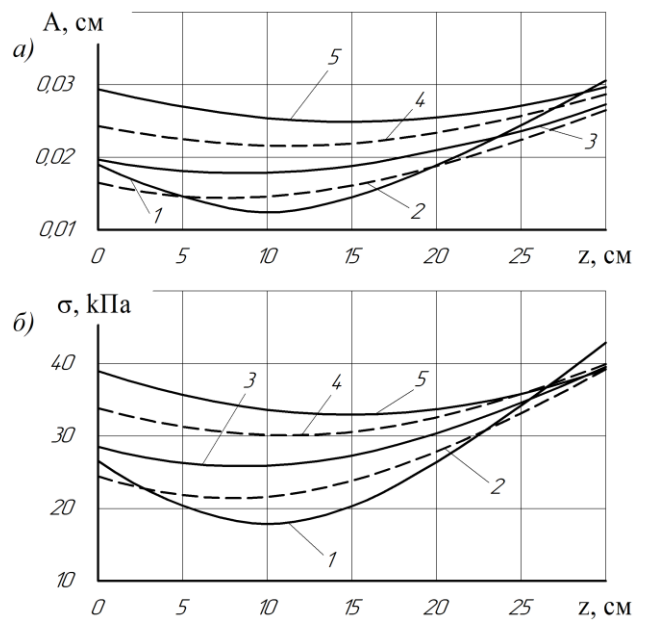


Рисунок 4 – Изменения амплитуд перемещений A и напряжений σ , возникающих в бетонной среде различной консистенции на расстоянии $x=80$ см от источника вибрации в зависимости от координаты по высоте вертикальной плиты, начиная от ее вертикальной кромки: 1 – при осадке конуса 3,5 – 4 см; 2 – при жесткости смеси $Ж=30$ с; 3 – при $Ж=60$ с; 4 – при $Ж=90$ с; 5 – при $Ж=120$ с

В табл. 2 приведены значения необходимой продолжительности уплотнения бетонных смесей различной консистенции при длине вибрационной обработки $x=60$ см и увеличенной в 1,5 раза ширине вибрационной плиты $B=30$ см, т.е. при несколько измененных параметрах вибрационного глубинного уплотнителя: масса глубинного уплотнителя – $m=5,57$ кг; расстояние от центра тяжести глубинного вибровозбудителя до верхней кромки вертикальной плиты – $r_1=0,05$ см; момент инерции глубинного виброуплотнителя относительно оси, проходящей через центр тяжести – $J_y=0,0486$ кг·м²; площадь поверхности вертикальной плиты, взаимодействующая с бетонной смесью (при двухстороннем контакте) – $F=1200$ см².

Анализ данных, приведенных в табл. 2 показывает, что увеличение площади взаимодействия плоскостного глубинного виброуплотнителя в 1,5 раза за счет ширины виброплиты без роста амплитуды возмущающей силы не приводит к заметному увеличению производительности. При этом приемлемым (табл. 2) можно считать уплотнение пластичных с осадкой конуса ОК=3,5 – 4 см и жестких бетонных смесей жесткостью 30 – 90 с.

Таблиця 1 – Значення необхідної продовжителності вібраційного процесу ущільнення t_v бетонних смесей різкої консістенції при діліні вібраційної обробки $x=80$ см

| Консістенція бетонної смеси | ОК=3,5–4 см | Ж=30 с | Ж=60 с | Ж=90 с | Ж=120 с |
|--------------------------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| Продовжителність ущільнення, с | 17,0 | 31,5 | 41,6 | 48,7 | 53,8 |

Таблиця 2 – Значення необхідної продовжителності вібраційного процесу ущільнення t_v бетонних смесей різкої консістенції при ширині вібраційної плити $B = 30$ см і діліні вібраційної обробки $x = 60$ см

| Консістенція бетонної смеси | ОК=3,5–4 см | Ж=30 с | Ж=60 с | Ж=90 с | Ж=120 с |
|--------------------------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| Продовжителність ущільнення, с | 29,5 | 60,1 | 79,2 | 92,0 | 100,0 |

Таким образом, установлено, что использование плоскостного глубинного виброуплотнителя, которому одновременно сообщаются прямолинейные и крутильные колебания, обеспечивает эффективное уплотнение бетонных смесей. Аналогичные результаты получены при использовании предлагаемого плоскостного виброуплотнителя для уплотнения бетонных смесей в форме.

ВЫВОДЫ. На основе анализа существующих конструкций и способов уплотнения бетонных смесей глубинными вибраторами предложен плоскостной глубинный уплотнитель, в верхней части которого смонтирован вибровозбудитель круговых колебаний. Определены рациональные параметры плоскостного глубинного уплотнителя. Проведенными исследованиями установлены основные параметры вибрационного воздействия на уплотняемую среду в виде переменного амплитудно-частотного деформирования уплотняемой среды. Показана эффективность вибрационного уплотнения пластичных с осадкой конуса ОК-3,5 – 4 см смесей и жестких смесей жесткостью Ж=30 – 120 с. Приведенные результаты исследований позволяют обосновать рациональные параметры плоскостного глубинного уплотнителя, совершающего пространственные колебания, и режимы вибрационного воздействия на бетонные смеси различной консістенції.

ЛИТЕРАТУРА

- Juradin S., Baloević G & Harapin A. Impact of Vibrations on the Final Characteristics of Normal and Self-compacting Concrete. *Journal of Materials Research*. 2014, Vol. 17(1), pp. 178–185.
- Sudarshan NM & Chandrashekar Rao T. Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and

UHPRC. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017, Vol. 12, 8th edn, pp. 1683–1690.

3. Koh HB, Yeoh D & Shahidan S. Effect of re-vibration on the compressive strength and surface hardness of concrete. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2017, Vol. 271, 012057.

4. Gutierrez J, Ruiz E & Trochu F (2013), High-frequency vibrations on the compaction of dry fibrous reinforcements. *Journal of Advanced Composite Materials*. 2013, Vol. 22 (1).

5. Волков С. А., Евтюков С. А. Строительные машины. СПб.: ДНК, 2012. 597 с.

6. Стаценко А. С. Технология каменных работ в строительстве. Минск: Выш. шк. 2010. 255 с.

7. Герасимов М. Д., Герасимов Д. М. Определение закона движения, скорости и ускорения центра масс планетарного вибровозбудителя. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 12. С. 8–11.

8. Maslov A., Janar Batsaikhan, Puzyr R, Salenko Yu. The Determination of the Parameters of a Vibration Machine of the Internal Compaction of Concrete Mixtures. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, Vol. 7 (4.3), pp 12–19.

9. Maslov O., Janar Batsaikhan, Salenko Yu. The Theory of Concrete Mixture Vibratory Compacting. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, Vol. 7 (3.2), pp 239–244.

10. Nesterenko M., Maslov A., Salenko Ju. Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, Vol. 7 (3.2), pp 260–264.

THE DEVELOPMENT OF PLANAR DEEP-SEAL READY MIX CONCRETE

Janar Batsaikhan

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: kmto.43@gmail.com

Purpose. The purpose of the article is to develop high-performance planar deep vibration seal of concrete mixtures of different consistency. **Methodology.** The analysis of existing structures and methods of compaction of concrete mixtures by deep vibrators, their positive and negative properties are determined. A new design of a planar deep seal consisting of a vertical plate immersed in a concrete mixture on which a vibration exciter of circular vibrations is mounted with the help of a bracket fixed in its upper part is proposed. The design of a compact and low-energy vibration exciter

of circular oscillations with a monolithic unbalance shaft, the output end of which is connected by means of a sleeve coupling and a flexible shaft with a drive is described. The operation and operating principle of the proposed planar deep seal are described. The fundamentals of the method of compaction of concrete mixture by variable amplitude-frequency deformation of the concrete mixture arising from the spatial vibrations of the proposed planar deep seal are shown. **Results.** The technical characteristics of the planar deep seal used for compaction of concrete mixtures are given. Graphically presented and analyzed changes in the amplitude of vibrations of the deep plane vibration compactor and the amplitude of stresses arising in the concrete medium of different consistency in the place of its contact with the deep vibration seal depending on the height of the concrete mixture layer. The change of vibration amplitude and stress amplitude in the concrete medium of different consistency depending on the distance to the vibration source is shown. **Originality.** The conducted studies have established the main parameters of vibration impact on the compacted medium in the form of variable amplitude-frequency deformation of the compacted medium. Shows the effectiveness of vibratory compaction is plastic with a slump of OK-3.5 – 4 cm mix and hard mix stiffness $W=30 - 120$ s. the results of the studies allow us to substantiate the rational parameters of the planar depth of the seal, making spatial variability, and the modes of vibration effects on concrete mixtures of different consistencies. **Practical value.** The obtained results allow us to justify the rational parameters of the deep vibration seal, to choose a rational method of vibration impact on the compacted medium and the corresponding mode of operation depending on the consistency of the concrete mixture and the thickness of the compacted layer. The values of the required duration of the vibration process of compaction of concrete mixtures of different consistency are given. References 10, tables 2, figures 4.

Key words: planar deep seal, concrete mix, vibration seal.

REFERENCES

1. Juradin, S, Baloević, G., Harapin, A. (2014), Impact of Vibrations on the Final Characteristics of Normal and Self-compacting Concrete, *Journal of Materials Research*, 17(1), pp. 178-185.
2. Sudarshan, N. M., Chandrashekar, R. T. (2017), Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and UHPFRC, *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 12, 8th edn, pp. 1683-1690.
3. Koh, H. B., Yeoh, D., Shahidan, S. (2017), Effect of re-vibration on the compressive strength and surface hardness of concrete, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 271, 012057.
4. Gutierrez, J., Ruiz, E., Trochu, F. (2013), High-frequency vibrations on the compaction of dry fibrous reinforcements, *Journal of Advanced Composite Materials*, Vol. 22 (1).
5. Volkov, S. A., Evtyukov, S.A. (2012), *Stroitel'nye mashiny* [Construction machinery], "DNK", SPb, Russia.
6. Stacenko, A. S. (2010), *Tekhnologiya kamennyh rabot v stroitel'stve* [Technology of stone works in construction], "Vysh. shk.", Minsk, Belorussia.
7. Gerasimov, M. D., Gerasimov, D. M. (2013), "Determination of the law of motion, speed and acceleration of the center of mass of the planetary vibration exciter", *International journal of applied and fundamental research*, No. 12, pp. 8-11.
8. Maslov, A., Batsaikhan, J., Puzyr, R., Salenko, Yu. (2018), The Determination of the Parameters of a Vibration Machine for the Internal Compaction of Concrete Mixtures, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (4.3), pp 12-19.
9. Maslov, O., Batsaikhan, J., Salenko, Yu. (2018), The Theory of Concrete Mixture Vibratory Compacting, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (3.2), pp 239-244.
10. Nesterenko, M., Maslov, A., Salenko, Ju. (2018), Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (3.2), pp 260-264.

Стаття надійшла 22.05.2018.