



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Технология строительного производства»

Учебное пособие и методические указания к курсовой работе

по дисциплине

«Технология монолитных бетонных работ»

**«Перспективные технологии подачи и
вибрационного уплотнения бетонной смеси
при устройстве монолитных конструкций»**

Авторы

Жолобов А.Л.,

Жолобова Е.А.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Содержатся основные сведения о технологиях подачи и вибрационного уплотнения бетонной смеси; проанализирован отечественный и зарубежный опыт производства и применения средств подачи бетонной смеси к месту укладки и вибраторов; приведены основные положения теории взаимодействия рабочего органа вибратора и бетонной смеси; изложена методика выбора вибраторов и технологии вибрационной укладки бетонной смеси при устройстве различных монолитных конструкций.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство». Пособие может быть полезно инженерно-техническим работникам строительных организаций.

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Технология
строительного производства»

Жолобов А.Л.

к.т.н., доцент кафедры «Технология
строительного производства»

Жолобова Е.А.





СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1. ПОДАЧА БЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 7 |
| 1.1. Традиционные методы подачи бетонной смеси | 7 |
| 1.1.1. История развития методов подачи бетонной смеси | 7 |
| 1.1.2. Сущность происходящих воздействий на бетонную смесь и изменение ее физико-механических свойств при подаче к месту укладки | 15 |
| 1.1.3. Классификация методов и средств подачи бетонной смеси к месту укладки | 19 |
| 1.1.4. Комплексная оценка конкурентоспособности методов подачи бетонной смеси к месту укладки на примере бетонирования фундаментной плиты здания | 24 |
| 1.2. Перспективные технологии подачи бетонной смеси | 32 |
| 1.2.1. Особенности и перспективы применения инерционно- конвейерной технологии | 32 |
| 1.2.2. Опыт применения автобетоносмесителей, оснащенных ленточным конвейером или бетононасосом с распределительной стрелой | 36 |
| 1.2.3. Предложения по совершенствованию методов подачи к месту укладки жестких бетонных смесей | 38 |
| 2. ВИБРАЦИОННОЕ УПЛОТНЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 42 |
| 2.1. Традиционные технологий вибрационного уплотнения бетонной смеси | 42 |
| 2.1.1. История развития методов вибрационного уплотнения бетонной смеси | 42 |
| 2.1.2. Сущность вибрационного воздействия на бетонную смесь | 45 |



| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.1.3. Классификация методов и средств вибрационного уплотнения бетонной смеси | 47 |
| 2.1.4. Изменение физико-механических свойств вибрируемой бетонной смеси | 70 |
| 2.1.5. Проектирование технологии вибрационного уплотнения бетонной смеси | 84 |
| 2.2. Перспективные технологии уплотнения бетонной смеси | 95 |
| 2.2.1. Особенности и перспективы применения виброимпульсных технологий | 95 |
| 2.2.2. Опыт применения виброимпульсных уплотнителей при устройстве монолитных и сборно-монолитных конструкций | 99 |
| 2.2.3. Особенности и перспективы применения пластинчатых и пружинных вибраторов при уплотнении бетонной смеси | 106 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 110 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 111 |

ВВЕДЕНИЕ

Лидирующее место в строительном производстве по объему потребляемых ресурсов в настоящее время занимают процессы, связанные с устройством монолитных бетонных и железобетонных конструкций.

Интенсивное развитие монолитного строительства стало возможным благодаря созданию высокопроизводительной техники подачи бетонной смеси к месту укладки и создания и применению высокотехнологичных опалубочных систем, а также созданию бетонов обладающих значительно улучшенными повышенными технологическими и эксплуатационными качествами. Не осталось без внимания ученых-строителей и изобретателей технологии уплотнения бетонной смесей и соответствующим, уплотнительной техники.

Возникшее многообразие известных методов и средств доставки к месту укладки бетонной смеси и ее уплотнения в опалубке создало проблему выбора наиболее эффективных из них для конкретной монолитной конструкции, так как содержащая информация о них, содержащаяся в литературных источниках, в том числе в учебниках, предназначенных для будущих строителей, весьма разрозненна, а иногда и противоречива. Положения по строительному производству, содержащиеся в утвержденных сводах правил, также не дают конкретную оценку эффективности применения того или иного метода подачи или уплотнения бетонной смеси.

Кроме того, современная методическая литература и учебники, в отличие подобной литературы, издававшейся более 60 лет назад, в большинстве случаев не раскрывают сущность и не объясняют важность применения тех или иных технологических приемов, и поэтому выглядят неубедительно, а на практике порой игнорируются. Чтобы восполнить этот пробел и подготовлено данное учебное пособие.



В нем представлена не только систематизированная информация о перспективных технологиях подачи к месту укладки и уплотнению бетонной смеси при устройстве монолитных бетонных и железобетонных конструкции, но и приведены сведения об истории развития этих технологий.

В пособии приведена комплексная оценка конкурентоспособности вариантов указанных технологий. Оно содержит информацию о последних научных достижениях ученых ДГТУ в совершенствовании технологии монолитного строительства.

В пособии учтены положения по технологии производства бетонных работ, содержащиеся в СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» [15] и СП 435.1325800.2018 «Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ» [16].

1. ПОДАЧА БЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Традиционные методы подачи бетонной смеси

1.1.1. История развития методов подачи бетонной смеси

Еще менее ста лет назад бетонную смесь готовили непосредственно у места ее укладки в бетонируемую конструкцию. Причиной того являлись:

- отсутствие автотранспорта;
- малые объемы потребления бетонной смеси (за исключением объектов гидротехнического строительства);
- существовавшее утверждение, что сократить транспортные расходы на одну треть можно при отказе от перевозки воды затворения в составе бетонной смеси.

При этом подача бетонной смеси была предельно простой: вручную (с помощью лопат, носилок, тачек или ведер) и по деревянным желобам, имеющим уклон более 60 %. Для лучшего скольжения бетонной смеси деревянные желоба сначала стали обивать кровельной сталью, а позже, вместо них, стали применять цельнометаллические лотки и вибротки, используемые на предприятиях строительной индустрии в качестве технологического оборудования.

По вертикали вверх бетонную смесь сначала подавали в бочках с помощью лебедок и подъемников. С началом применения в строительстве грузоподъемных кранов бетонную смесь чаще всего стали подавать к месту укладки в бадьях вместимостью до 1,5 м³, предназначенных для сыпучих материалов.

При больших объемах работ начиная с 1950-х гг. наиболее производительным методом доставки к месту укладки бетонной смеси являлись самосвалы марки ЗИЛ-ММЗ моделей 585, 555 и 4502, способные перевозить за один рейс, соответственно, 1,6, 2,4 и 3,0 м³ бетонной смеси. В гидротехническом строительстве применялись большегрузные для того времени автосамосвалы

марки МАЗ-205 и МАЗ-503. Их использовали для подачи бетонной смеси непосредственно в бетонируемую конструкцию со специально возводимых эстакад.

Более совершенным средством доставки бетонной смеси, по сравнению с автосамосвалами, в 70-е годы прошлого столетия стал созданный в нашей стране автобетоновоз марки СБ-124. Обтекаемая форма его кузова, а также увеличенный угол его наклона позволяли полностью опорожнять кузов без дополнительного механического на него воздействия, то есть без помощи ручного инструмента или навесных вибраторов (рисунок 1). К сожалению, польза от применения таких автобетоновозов не была по достоинству оценена отечественными строителями и их выпуск был прекращен.

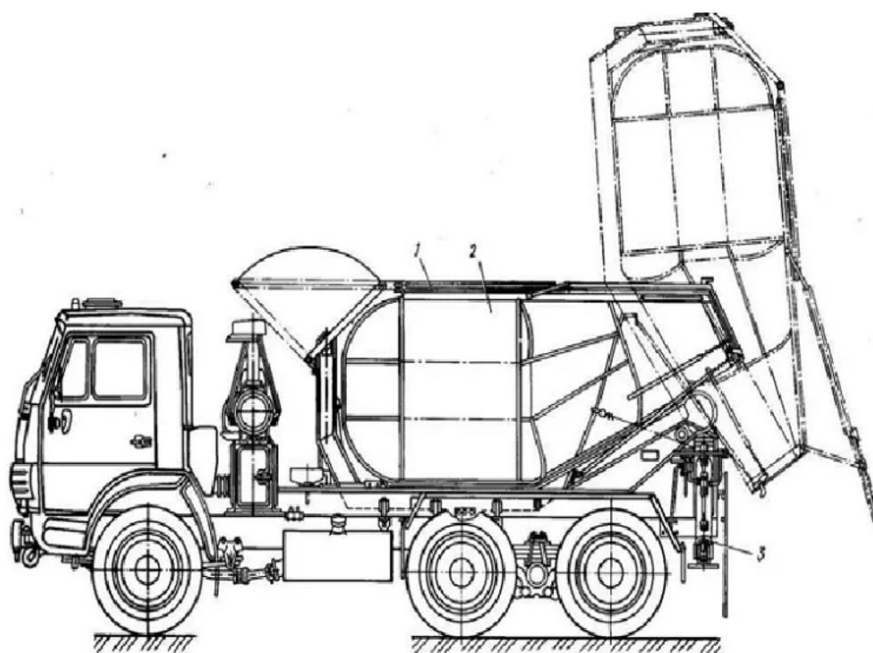


Рисунок 1 – Автобетоновоз СБ-124

Начиная с середины прошлого века при транспортировании бетонной смеси автосамосвалы постепенно были заменены конструктивно более сложными автобетоносмесителями.

Массовое внедрение автобетоносмесителей при централизованной доставке бетонной смеси на строительные объекты, происшедшее в девяностых годах прошлого века, по существу совершило революцию в отечественном и зарубежном монолитном строительстве, обеспечив сохраняемость свойств перевозимой смеси, увеличив максимальную дальность ее транспортирования, а также повысив уровни технологичности и безопасности выгрузки. Этому не помешало значительное удорожание эксплуатации транспортных средств и неприспособленность автобетоносмесителей для перевозки весьма востребованных в строительстве малоподвижных бетонных смесей (с осадкой конуса менее 4 см).

Дальнейшее совершенствование автобетоносмесителей осуществляется в сторону увеличения объема перевозимой бетонной смеси и, в частности, за счет использования полуприцепов, вмещающих до 16 м³ бетонной смеси. Это позволяет сократить простои автотранспорта во время их погрузки и разгрузки.

В настоящее время немалая часть затрачиваемых материальных и трудовых ресурсов приходится на транспортирование бетонной смеси в пределах строительной площадки. Процесс такого транспортирования, то есть подачи бетонной смеси к месту укладки может состоять из нескольких технологических операций:

выгрузки доставленной на стройплощадку бетонной смеси непосредственно в бетонируемую конструкцию или перегрузки ее в специальные распределительные емкости;

перемещения в пределах строительной площадки к месту укладки;

распределения (дополнительного перемещения) бетонной смеси в процессе укладки, иногда совмещаемого во времени с ее уплотнением в блоке бетонирования.

При бетонировании конструкций в труднодоступных местах, затраты на подачу бетонной смеси в отдельных случаях могут достигать половины ее сто-

имости. Кроме дальности транспортирования величина этих затрат зависит и от выбранной технологии подачи, производительности и стоимости машино-часа используемого транспортного средства, фактического времени его простоев и технического обслуживания, массивности бетонируемой конструкции, технологических свойств, а значит и стоимости бетонной смеси.

При необходимости подачи бетонной смеси на определенную высоту уже более 80 лет применяют поворотные и неповоротные бункеры различной формы и вместимости, которая должна соответствовать грузоподъемности крана. Современные бункеры имеют обтекаемую форму для лучшего их опорожнения, как например, на рисунке 2.

При необходимости спуска бетонной смеси на большую глубину издавна применяют специальные рукава – хоботы, предотвращение ее расслоение. Наиболее распространенная в СССР конструкция хоботов представляет собой цепочку гибко соединенных между собой усеченных конусов из тонкой листовой стали. В зависимости от необходимой высоты спуска смеси эта цепочка может наращиваться или укорачиваться, не превышая, однако, общей длины 10 м.



Рисунок 2 – Общий вид бункера поворотного круглого сечения для бетонной смеси

Позже стали применять "мягкие" хоботы из прорезиненных и пластиковых рукавов. Такие хоботы удобно использовать при подводном бетонировании, а также при бетонировании густоармированных конструкций. В этом случае их можно перемещать между стержнями не приподнимая, так как они в сечении "сплющиваются". Это свойство гибких хоботов создает дополнительное сопротивление падающей смеси, что позволяет использовать их для спуска смеси до 20 м.

Для увеличения производительности и глубины подачи бетонной смеси в послевоенные годы на хоботы стали устанавливать вибраторы. В таких виброхоботах первых конструкций применяли концевые гасители скорости в виде секторных затворов, что оказалось неудачным. При этом возникали высокие динамические нагрузки на подвеску хобота. Современные виброхоботы имеют гасители скорости по всей его высоте.

Начиная с 20 гг. прошлого столетия самыми производительным из всех внутрипостроечных транспортных средств для подачи бетона были ленточные конвейеры. Применение их позволяло значительно снизить трудозатраты и стоимость работ, связанных с подачей бетонной смеси к месту укладки даже по сравнению с использованием для этих целей грузоподъемных кранов.

Создание отечественных самоходных ленточных конвейеров, так называемых бетоноукладчиков, началось в 60-х годах, когда в СССР практически весь объем бетонной смеси доставлялся на строительную площадку автомобилями-самосвалами общего назначения. Это обстоятельство обусловило наличие специфических требований к приемным устройствам бетоноукладчиков.

Важнейшей характеристикой рабочего органа самоходного бетоноукладчика является вылет его стрелы, так как с увеличением вылета повышаются технологические возможности бетоноукладчика.

Столетнюю историю применения в строительстве имеет и трубопроводный метод подачи бетонной смеси к месту укладки в монолитные конструкции.

По трубопроводу возможна подача материалов под любым углом к горизонту. Еще одним преимуществом трубопроводного транспорта является возможность непрерывной подачи бетонной смеси к месту производства работ. Подача бетонной смеси по трубопроводам осуществляется с помощью пневмонагнетателей или бетононасосов.

Пневмонагнетатели работают в циклическом режиме. В первых пневмонагнетателях после ручной загрузки в них порции бетонной смеси закрывали затвор и от отдельно стоящего компрессора подавали сжатый воздух, вытеснявший бетонную смесь в бетонопровод. При этом сжатый воздух, продолжавший поступать внутрь пневмонагнетателя, обеспечивал поступательное движение порции смеси до разгрузочного отверстия. Разгрузка бетонной смеси из бетонопровода происходила с весьма высокой скоростью. При этом удар разгружаемой смеси был способен деформировать и сместить установленную арматуру бетонируемой конструкции, а также повредить ее опалубку.

Первым усовершенствованием таких пневмонагнетателей стало оснащение концевого участка бетонопровода гасителем скорости, воспринимающим динамический удар. Однако даже несмотря на простоту и невысокую стоимость усовершенствованные таким образом пневмонагнетатели не получили широкого распространения на стройках из-за цикличности работы, необходимости компрессорной установки и мощного ресивера.

За рубежом в середине 60-х гг. прошлого столетия пневмонагнетатели были вытеснены более совершенными в то время бетононасосными установками. Однако пневмонагнетательные установки продолжали эксплуатироваться в тоннельном строительстве, так как динамическое давление смеси при разгрузке способствует в данном случае лучшему ее прониканию за опалубку тоннельных обделок, а пневматический привод установки предпочтителен из условий техники безопасности.

В настоящее время пневмонагнетатели вновь стали конкурентоспособными, так как они конструктивно объединили в себе компрессор, смеситель и скиповый подъемник для загрузки смесителя. Прокачка смеси такими пневмонагнетателями осуществляется цепочкой небольших порций. Для этого давление в пневмонагнетателе стравливают сразу после выхода смеси в головной участок бетонопровода, не дожидаясь проталкивания очередной порции до его конца. Затем пневмонагнетатель вновь загружается, и поступающий в него сжатый воздух выдавливает смесь в бетонопровод, одновременно проталкивая предыдущую порцию бетонной смеси.

Такой метод пневматического транспортирования предпочтительнее ранее описанного, так как существенно уменьшает динамические воздействия на бетонопровод и поддерживающие его конструкции, уменьшает хлопки при залповом выбросе сжатого воздуха. При этом подвижность смеси должна быть не менее 6–8 см по стандартному конусу. При меньшей подвижности возможен прорыв сжатого воздуха в бетонопровод через смесь.

Начало промышленного производства бетононасосов относится к концу 20-х годов. Первый бетононасос по патенту М. Гизе и Ф. Хелля был изготовлен фирмой "Торкрет" (Германия). При испытаниях этого насоса на строительстве в 1929 г., несмотря на ряд конструктивных недостатков и поломок машины, удалось подавать смесь на высоту 27 м при производительности 10 м³/ч [17].

В СССР начиная с 1950 г. был выпущен ряд моделей бетононасосов с электромеханическим приводом производительностью от 5 до 40 м³/ч. Причинами непопулярности бетононасосного транспорта явились малая механическая надежность бетононасосов, необходимость высококвалифицированного персонала для их обслуживания, повышенные требования к составам перекачиваемых смесей. При этом технические возможности бетононасосов оставались невысокими (по техническому паспорту дальность транспортирования достигала 250 м, подъем по вертикали был возможен на высоту до 40 м). При перекачке сме-

сей с подвижностью менее 10 см существенно снижались производительность и дальность транспортирования.

Новым этапом в развитии бетононасосов стал перевод их гидравлический привод, что позволило резко снизить диаметры бетонопроводов и существенно увеличить на них количество поворотных колен.

Реализация идеи механического манипулирования бетонопроводом привело к созданию распределительных стрел, монтируемых на конечном участке бетонопровода (рисунок 3). Такие распределительные стрелы можно устанавливать на временных поддерживающих конструкциях и на стенах возводимых зданий. Современные распределительные стрелы нашли широкое применение при возведении высотных, в том числе уникальных зданий с монолитными перекрытиями.

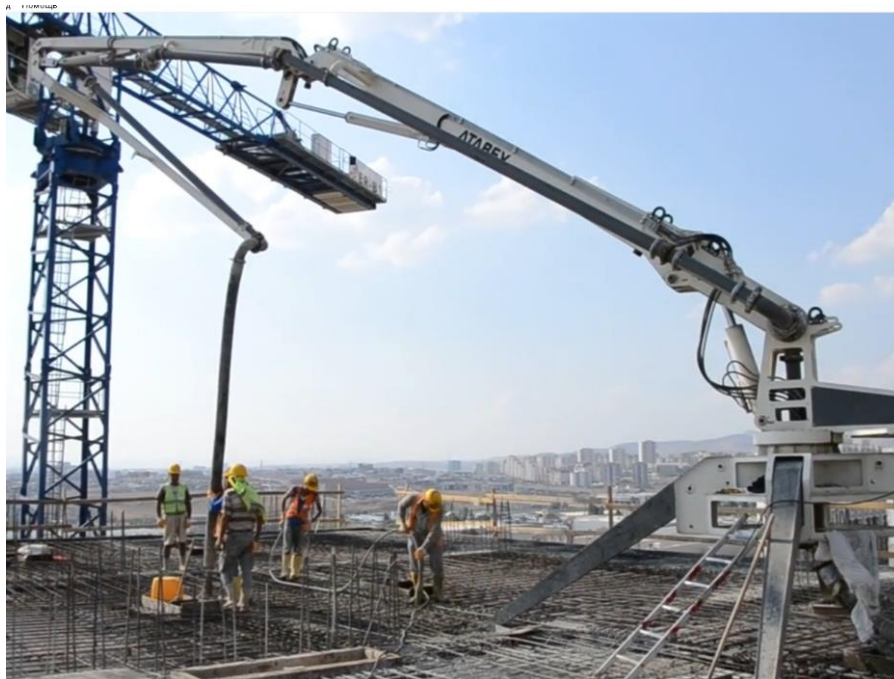


Рисунок 3 – Укладка бетонной смеси с помощью распределительной стрелы при устройстве монолитного перекрытия здания

В 1965 г. компания «Schwing» установила бетононасос на шасси автомобиля и тем самым открыла эпоху серийного производства автобетононасосов. В 1968 г. установки обзавелись распределительными стрелами. В том же году выпустила свою модель и компания «Putzmeister».

До 1979 г. все автобетононасосы выпускались без обогрева и утепления. Их эксплуатация была возможной при температурах воздуха не ниже минус 10°C. Фирма "Вортингтон" совместно со специалистами Минэнерго СССР разработали принципиальную схему бетононасоса зимней модификации в исполнениях для работы при температурах до минус 25 и минус 40°C.

Завершая краткий исторический обзор методов подачи бетонной смеси, нельзя не упомянуть о появившемся недавно необычном методе, осуществляемом с помощью вертолета, на котором подвешен неповоротный бункерах для бетонной смеси, изготовленный из алюминиевых сплавов. Область применения такого метода ограничена и связана с производством бетонных работ в весьма труднодоступных местах – в основном в высокогорной местности (рисунок 4).



Рисунок 4 – Общий вид вертолета с подвешенный неповоротным бункером для бетонной смеси

1.1.2 Сущность происходящих воздействий на бетонную смесь и изменение ее качества при подаче к месту укладки

В процессе подачи бетонной смеси к месту укладки она подвергается разнообразным воздействиям, изменяющим в той или иной мере ее состав и технологические свойства, а в итоге – и физико-механические свойства бетона. Эти воздействия можно разделить на виды по аналогии с формами движения, предложенными Ф. Энгельсом [18], то есть на механические, физические, химические, биологические и социальные, учитывая то, что они могут проявлять себя в различных сочетаниях. Ниже, в таблице 1 представлены наиболее опасные воздействия и указано их влияние на изменение качества бетонной смеси.

Таблица 1 – Влияние основных воздействий, воспринимаемых бетонной смесью, на изменение ее качества при подаче к месту укладки

| Вид воздействия | Характер воздействия | Условия появления воздействия | Изменение свойств бетонной смеси и бетона |
|-----------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | | |
|--------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Механические | Вибрация и встряхивание бетонной смеси | При транспортировании бетонной смеси ленточными конвейерами, при перевозке ее в автомобилях и при подаче в виброточках | При продолжительном действии вибрации и встряхивании снижается подвижность и происходит расслаивание бетонной смеси, увеличивается неоднородность прочности бетона. При перевозке в автосамосвале, к тому же, происходит слеживание смеси и существенное повышение адгезии к кузову, препятствующие ее выгрузке. Ослабление влияния вибрации из-за ее затухания происходит по мере увеличения глубины кузова самосвала и в той его части, которая расположена ближе к кабине водителя. |
| | Свободное сбрасывание бетонной смеси | Свободное сбрасывание бетонной смеси в бетонную конструкцию с высоты от 2 до 6 м | Большая кинетическая энергия фракций крупного заполнителя способствует его прониканию в глубь разгруженного объема смеси без отскока. Растворная часть смеси при этом интенсивно деформируется и отжимается к краям разгруженного объема. При этом центральная часть уложенной порции смеси более насыщена крупным заполнителем, чем периферийная. В таких конструкциях наблюдается гнезда каменного скелета, не заполненной растворной частью. |
| | Длительное перемешивание | Во время транспортирования и ожидания разгрузки в автобетоносмесителе | Приводит к падению подвижности смеси с 11-20 до 4-16 см и повышению равномерности распределения растворной части и крупного заполнителя по объему замеса. Причинами потери подвижности являются физико-химические процессы, связанные с гидратацией цемента, повышением удельной поверхности перемешиваемых материалов, а также разогревом смеси из-за перехода механической энергии в тепловую. |

Продолжение табл. 1

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

| | | | |
|--------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Механические | Гравитационное | Наличие щели из-за неплотного закрывания разгрузочного отверстия в бункерах и заднего борта автосамосвала | Через щели вытекают растворная часть смеси и цементное молоко, в результате чего меняется состав и снижается подвижность бетонной смеси. |
| | | Наклон кузова или лотка в сторону разгрузки | Нарушается однородность бетонной смеси в результате более быстрого стекания цементного молока и растворной части в поверхностном слое бетонной смеси чем сползание самой бетонной смеси по мере увеличения наклона кузова или лотка в сторону выгрузки |
| | Инерционное | Повышенные скорости ленты конвейера | Для смесей подвижностью более 10—12 см увеличение разбрызгивания растворной составляющей. |
| | | Резкое изменение скорости и направления движения автосамосвала с низкими бортами | При перевозке бетонной смеси содержащиеся в верхнем ее слое цементное молоко и растворная часть выплескиваются через низкий борт кузова, в результате изменяется состав бетонной смеси и снижается ее подвижность. |
| | Ударное | Подача бетонной смеси в ленточном конвейере с разгрузочным трактом | При ударе бетонной смеси о стенку разгрузочного трака заполнитель при столкновении с упругим препятствием приобретает энергию отскока, отделяется от основной массы смеси, в результате чего нарушается однородность бетонной смеси |
| | Напорное | Негерметичные бетонопроводы | В неплотных соединениях бетонопровода происходит отжатие из бетонной смеси воды, отложение в этих местах заполнителей с последующим образованием пробки. |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Физические | Атмосферные осадки | Подача бетонной смеси в открытых кузовах автосамосвалов, лотках, ленточных конвейерах, бадьях и бункерах | При попадании в бетонную смесь дождевой воды увеличивается водоцементное отношение смеси, что приводит к ухудшению качества бетона. Кроме того, при попадании в бетонную смесь снега и града существенно снижается температура бетонной смеси. |
| | Солнечная радиация в жаркую погоду | Подача бетонной смеси в открытых кузовах автосамосвалов, лотках, ленточных конвейерах и бадьях | Происходит интенсивное обезвоживание поверхностного слоя бетонной смеси, снижается подвижность, сокращаются сроки начала твердения цемента |
| | | Отсутствует термоизоляция барабана смесителя и светоотражающая окраска на нем | Происходит перегрев барабана смесителя, а вместе с ним и бетонной смеси, снижается ее подвижность, сокращаются сроки начала твердения |
| | Морозная погода | При транспортировании бетонной смеси ленточными конвейерами, при перевозке ее в автомобилях и при подаче в лотках | В зимних условиях происходит переохлаждение бетонной смеси. При транспортировании смеси в автосамосвалах без обогрева кузова происходит примерзание ее к стенкам и к днищу кузова |
| | Сухая и ветреная погода | Подача на транспортерной ленте с пониженной скоростью | Происходит потеря подвижности бетонной смеси |

Окончание табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Химические | Побочное влияние химических добавок | Бетонная смесь с противоморозными добавками | Резкое сокращение сроков начала схватывания цемента в составе бетонной смеси со снижением ее подвижности и интенсивным выделением тепла |

В данной таблице не представлены, хотя к ней имеют непосредственное отношение, биологические и социальные воздействия, поскольку они возникают весьма редко и их опасность не соизмерима мала по сравнению с опасностью других воздействий. Так, например, не указано в качестве биологического воздействия обильный листопад, при котором листва, падающая с деревьев, попадает на открытые поверхности бетонной смеси, перемешиваясь с ней при подаче в бетонируемую конструкцию. Из социальных воздействий по указанным причинам в таблице не представлены возможные простои автотранспорта с бетонной смесью из-за пробок на автодорогах и под разгрузкой.

Опасность всех перечисленных воздействий, воспринимаемых бетонной смесью при подаче ее в бетонируемую конструкцию, должна учитываться не только при выборе методов подачи, но и при их совершенствовании, предотвращая возможное ухудшение качества этой смеси.

1.1.3. Классификация методов и средств подачи бетонной смеси к месту укладки

Все существующие, а также в будущем возможные методы подачи бетонной смеси к месту укладки в бетонируемую конструкцию можно условно разделить на четыре вида в зависимости от основных, перемещающих бетонную

смесь воздействий [13], в том числе:

- гравитационное воздействие, обеспечивающее перемещение бетонной смеси под действием силы тяжести;

- опорное воздействие, передаваемое на перемещаемую бетонную смесь через подвижную опорную поверхность, на которой смесь удерживается во время транспортирования. Такой поверхностью, например, могут служить лента конвейера, днище кузова автосамосвала или емкости для бетона (бункеры и бадьи);

- напорное воздействие, возникающее при транспортировании бетонной смеси по трубам под давлением, создаваемым бетононасосом или компрессором, а также сдвиганием смеси на неподвижной горизонтальной или малоуклонной поверхности;

- инерционное воздействие, перемещающее бетонную смесь с помощью сил инерции, а при ударно-инерционном методе – кроме того, и сил трения.

Указанные виды воздействия положены в основание классификации методов подачи бетонной смеси, как это далее показано в таблице 2. Такая классификация позволяет систематизировать не только сами методы подачи, но и варианты их осуществления. Классификация не исключает возможность одновременного или поочередного использования в одном методе сразу нескольких перемещающих воздействий (например, гравитационного и напорного, опорно-транспортного и напорного, инерционного с напорным и опорно-транспортным).

Данная классификация методов учитывает возможность применения при подаче бетонной смеси и другого рода воздействий и конструктивно-технологических решений в сочетании с основными воздействиями, позволяющих увеличить или, наоборот, уменьшить скорость ее перемещения, например, вибрированием, встряхиванием поверхности скольжения, регулированием ее уклона и коэффициента трения, изменением диаметра самотечного и напорного

трубопровода, оптимизацией формы и геометрических размеров раздаточных емкостей, изменением технологических свойств бетонной смеси и др.

Таблица 2 – Классификация методов подачи бетонной смеси к месту укладки по виду основного перемещающего воздействия

| Вид основного перемещающего воздействия | Методы подачи бетонной смеси | Возможные варианты осуществления методов подачи бетонной смеси |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гравитационное | Свободное сбрасывание смеси | Без гашения скорости |
| | | Использование промежуточных гасителей скорости падения в виде отбойных решеток, арматурных сеток и каркасов |
| | | Применение концевого гасителя скорости в форме криволинейного колена |
| | Скольжение смеси по наклонной или вертикальной поверхности | Обеспечение необходимого угла наклона поверхности скольжения с заданным коэффициентом трения |
| | | Использование самотечного бетонопровода, например, бетонолитной трубы |
| Течение смеси по горизонтальной поверхности | Механическое побуждение перемещения смеси вибрированием или встряхиванием наклонной поверхности скольжения | |
| Опорно-транспортное | Опорный метод с порционной подачей смеси | Применение растекающихся смесей |
| | | Перемещение смеси в емкостях |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | То же, с непрерывной подачей смеси | Подача смеси с помощью конвейера |
| Напорное | Напорный трубопроводный метод | С равномерным движением смеси |
| | | С пульсирующим движением смеси |
| | Сдвигание смеси по горизонтальной или малоуклонной поверхности | С использованием скребков, толкателей и шнеков |

Продолжение табл. 2

| 1 | 2 | 3 |
|-------------|------------------------|------------------------------------------------|
| Инерционное | Струйный | В сочетании с напорным воздействием |
| | Центробежный | С помощью роторного или иного метателя |
| | Инерционно-конвейерный | В сочетании с опорно-транспортным воздействием |

Возможность применения многих методов и средств подачи бетонной смеси зависит от ее подвижности. Известно, что для транспортирования жестких и особо жестких бетонных смесей совершенно непригодны бетононасосы и пневмонагнетатели из-за опасности закупоривания бетонопроводов, а для подачи высокоподвижной бетонной смеси (марки П4 или П5) невозможно применять ленточные конвейеры из-за опасности ее проскальзывания на движущейся транспортной ленте или стекания при наличии малейшего ее уклона.

Во многом эффективность применения того или иного метода подачи бетонной смеси определяется параметрами используемого оборудования и технологической оснастки, а также областью их рационального применения. В таблице 3 приведены усредненные данные об условиях допустимости применения средств подачи бетонной смеси.

Наиболее экономически эффективными, высокопроизводительными и безопасными средствами подачи бетонной смеси в близко расположенные за-

глубленные монолитные конструкции являются лотки и хоботы. Их высокая экономическая эффективность обусловлена исключением затрат на эксплуатацию строительных машин и снижением стоимости бетонной смеси из-за отсутствия необходимости применения в ее составе пластифицирующих добавок, а безопасность – прежде всего отсутствием сосудов и трубопроводов, работающих под давлением.

Таблица 3 – Область рационального применения отечественных средств подачи бетонной смеси к месту укладки

| Отечественные средство подачи бетонной смеси | Пре-дель-ная высота подачи | Предель-ная даль-ность по-дачи | Предельная глубина по-дачи (пре-дельный уклон лот-ка) | Макси-мальная произво-дитель-ность по-дачи, м ³ /ч | Осадка стан-дарт-ного конуса, см |
|----------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Автосамосвалы вместимостью кузова до 3 м ³ | 1 м | До 15 км | 5 м | 60* | Менее 5 |
| В автобетоносмесителях вместимостью до 10 м ³ | 1 м | До 30 км | 5 м | 60 | Не ме-нее 3 |
| Автокраны грузо-подъемностью до 70 т | 45 м | 27 м | 8 м | 24 м ³ (при вместимости бункера 2,4 м ³) | То же |
| Башенные краны грузоподъемностью до 12,5 т | 115 | 50 | 10 м* | То же | -«- |
| Гусеничные краны грузоподъемностью до 63 т | 35 | 30 | 16 м | -«- | -«- |
| Подъемник грузо- | 350 м | - | - | 3 м ³ /ч* | любая |

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------|------|------|------|----------------------|-------|
| пассажирский мачтовый (ПГПМ-4272-03) | | | | | |
| Ленточный конвейер (К-12) на базе автобетоносмесителя | 12 м | 6 м | 2 м | 60 м ³ /ч | 0-6 |
| Автобетононасос (АБН 75/33) | 35 м | 29 м | 15 м | 75 | 6-12 |
| Стационарный бетононасос (БН80) | 120 | 500 | - | 70 | От 9 |
| Пневмонагнетатель(СО-243С) | 70 | 200 | - | 8 | 16-32 |

Продолжение табл. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|---|-------------|-----------|-----|------|
| Лоток из листовой стали | - | Более 0,5 м | Более 30° | 60 | - |
| Вибролоток | - | 30 | 5-30° | 60 | 1-15 |
| Хобот | - | - | 10 | 30* | От 3 |
| Виброхобот | - | - | 80 м | 30 | От 3 |

Примечание. Знаком «*» обозначены расчетные данные

Тем не менее, эти средства подачи применяются все реже из-за незаинтересованности подрядчиков, а иногда и заказчиков в снижении стоимости строительства. Вместо этих средств в последние годы на стройплощадках все чаще применяют автобетононасосы, способные перекачивать только подвижные, а значит более дорогие бетонные смеси (марки П2 и выше).

1.1.4. Комплексная оценка конкурентоспособности методов подачи бетонной смеси к месту укладки на примере бетонирования фундаментной плиты здания

Многообразие известных методов и средств подачи бетонной смеси к месту укладки при отсутствии четкой классификации, при плохой сопоставимости или нехватке информации об области рационального применения не только затрудняет выбор из них наиболее эффективных, но и снижает мотивацию дальнейшего совершенствования. Такое многообразие требует от проектировщиков и строителей умения обоснованно выбирать из них наиболее конкурентоспособные для конкретных объектов с учетом условий производства работ и последующей эксплуатации монолитной конструкции.

Комплексная оценка конкурентоспособности любых строительных технологий является сложной и ответственной задачей, правильное решение которой зависит от совокупности не только постоянных внутренних, то есть целевых факторов, но и изменяющихся во времени внешних (ограничивающих) факторов, которые могут случайно ухудшить эффект от применения той или иной технологии.

Далее приведен пример комплексной оценки конкурентоспособности методов подачи бетонной смеси к месту укладки при устройстве монолитной железобетонной фундаментной плиты жилого многоэтажного здания при среднесуточной температуре атмосферного воздуха от +5 до +10 °С. В качестве допустимых методов подачи бетонной смеси были рассмотрены методы, основанные на применении автобетононасоса АБН 75/33, автомобильного крана грузоподъемностью 70 т; башенного крана грузоподъемностью до 12,5 т, ленточного конвейера К-12 на базе автобетоносмесителя. Возможность применения гусеничного стрелового крана на данном объекте не рассматривалась из-за экономической нецелесообразности (дорогостоящего перебазирования на объект крана для непродолжительной его работы по возведению подземной части здания).

Для комплексной оценки эффективности методов подачи бетонной смеси в качестве локальных критериев внутренних факторов использованы стоимость подачи бетонной смеси к месту укладки, загрязняемость воздуха при работе механизированных средств доставки, сохраняемость однородности бетонной смеси, трудоемкость процесса подачи бетонной смеси, травмоопасность процесса, а внешних факторов – опасность перебоев поставки материалов и электроснабжения строительной площадки, опасность отказа механизированных средств подачи бетонной смеси, опасность наступления зимних условий производства работ, опасность повышения скорости ветра до недопустимых значений.

При оценивании локальных критериев здесь был применен метод экспертных оценок по десятибалльной шкале, позволяющей упростить процедуру нормализации их значений (приведения к общему виду).

Результаты оценивания локальных критериев внутренних и внешних факторов сведены в соответствующие таблицы 4 и 5, в которых экспертная оценка, нормализованное и откорректированное значения каждого локального критерия в соответствующих ячейках таблицы записаны последовательно одной строкой и разделены знаком «/».

При выборе наиболее рационального варианта технологии подачи бетонной смеси использован принцип гарантированного результата по критерию Вальда, нахождение которого осуществлено с помощью радиальных диаграмм с использованием откорректированных значений локальных критериев по методике, представленной в Методических указаниях [7].

На рисунках 5–9 в виде радиальных диаграмм представлены графические модели сравниваемых методов подачи бетонной смеси: автобетононасосом; по схеме "кран-бадья» при помощи автомобильного и башенного крана; при помощи ленточного транспортера и вибролотков.

На всех пяти лучах каждой радиальной диаграммы (их число равно количеству локальных критериев внешних факторов K_1-K_5) отложены значения критерия Лапласа (λ), соответствующие сравниваемому методу подачи бетонной смеси. В результате соединения точек на всех диаграммах образовались правильные пятиугольники. На каждом луче диаграммы, кроме того, отложены откорректированные нормализованные значения локальных критериев внешних факторов (K_1-K_5), также соответствующие сравниваемому методу подачи бетонной смеси.

На представленных диаграммах ряд значений Лапласа для сравниваемого метода изображен сплошной линией и обозначен цифрой 1, а ряд откорректированных нормализованных значений локальных критериев внешних факторов показан пунктирной линией и обозначен цифрой 2.

Таблица 4 – Оценка критериев внутренних факторов, влияющих на выбор метода подачи бетонной смеси к месту укладки при устройстве монолитной железобетонной фундаментной плиты

| Сравниваемые методы подачи бетонной смеси к месту укладки | Значения локальных критериев внутренних факторов | | | | | Глобальный критерий Лапласа (λ) |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| | Стоимость подачи бетонной смеси к месту укладки | Загрязняемость атмосферного воздуха при работе средств подачи бетонной смеси | Сохраняемость однородности бетонной смеси | Трудоемкость процесса подачи бетонной смеси | Травмоопасность при подаче бетонной смеси | |
| 1. Подача бетонной смеси автобетононасосом | 9/0,44/0,44 | 6/0,5/0,75 | 7/1/1 | 4/1/1 | 6/1/1 | 0,84 |
| 2. Подача бетонной смеси автокраном (по схеме "кран-бадья") | 7/0,57/0,57 | 7/0,43/0,0,62 | 6/0,86/0,86 | 8/0,5/0,5 | 7/0,86/0,86 | 0,68 |
| 3. Подача бетонной смеси башенным краном (по схеме "кран-бадья") | 6/0,67/0,67 | 3/1/1 | 6/0,86/0,86 | 8/0,5/0,5 | 7/0,86/0,86 | 0,8 |
| 4. Подача бетонной смеси ленточным транспортером | 7/0,57/0,57 | 6/0,5/0,75 | 6/0,86/0,86 | 6/0,67/0,67 | 6/1/1 | 0,77 |
| 5. Подача бетонной смеси вибралотками | 4/1/1 | 3/1/1 | 2/0,29/0,29 | 7/0,57/0,57 | 7/0,86/0,86 | 0,74 |

| | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|--|
| Тенденция критерия | убывающая | убывающая | возрастающая | убывающая | убывающая | |
| Важность критерия | 1 | 0,5 | 0,8 | 1 | 1 | |

Таблица 5 – Оценка локальных критериев внешних факторов, влияющих на выбор метода подачи бетонной смеси к месту укладки при устройстве монолитной железобетонной фундаментной плиты

| Сравниваемые методы подачи бетонной смеси к месту укладки | Значения локальных критериев внешних факторов | | | | |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| | Опасность перебоев доставки на объект бетонной смеси (K_1) | Опасность перебоев в электрообеспечении строительной площадки (K_2) | Опасность отказа механизированных средств подачи бетонной смеси (K_3) | Опасность наступления зимних условий производства работ (K_4) | Опасность повышения скорости ветра до недопустимых значений (K_5) |
| 1. Подача бетонной смеси автобетононасосом | 8/0,38 /0,75 | 2/1/1 | 7/0,43/0,78 | 6/0,5/0,95 | 6/0,67/0,93 |
| 2. Подача бетонной смеси автокраном (по схеме "кран-бадья") | 4/0,75 /0,9 | 2/1/1 | 3/1/1 | 5/0,6/0,96 | 8/0,5/0,9 |
| 3. Подача бетонной смеси башенным краном (по схеме "кран-бадья") | 4/0,75/0,9 | 6/0,33/0,8 | 3/1/1 | 5/0,6/0,96 | 8/0,5/0,9 |
| 4. Подача бетонной смеси автокраном | 6/0,5/0,8 | 2/1/1 | 3/1/1 | 4/0,75/0,98 | 5/0,8 /0,96 |



| | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| смеси ленточным транспортером | | | | | |
| 5 .Подача бетонной смеси вибрлотками | 3/1/1 | 6/0,33/0,8 | 3/1/1 | 3/1/1 | 4/1/1 |
| Тенденция критерия | убывающая | убывающая | убывающая | убывающая | убывающая |
| Важность критерия | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,1* | 0,2* |

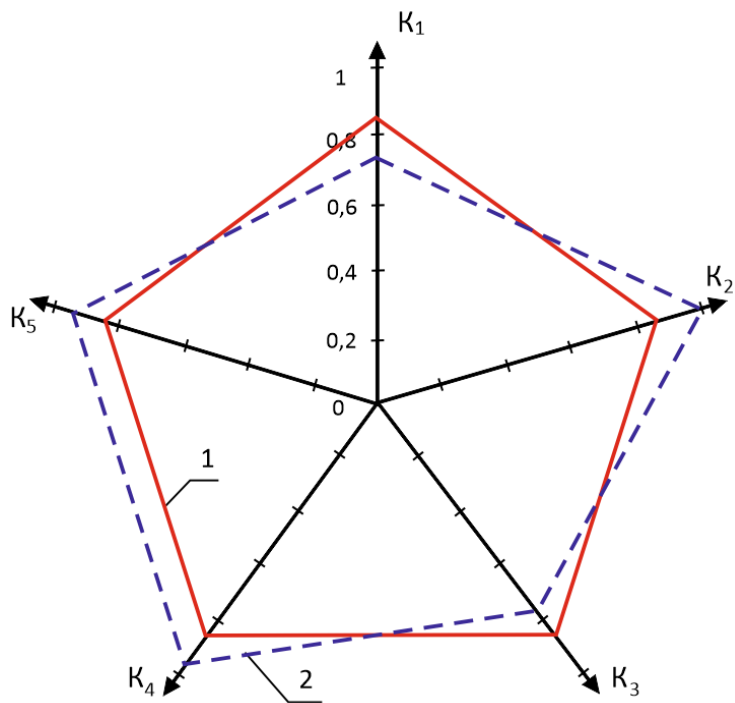


Рисунок 5 – Графическая модель метода подачи бетонной смеси автобетононасосом ($K_1=0,75$)

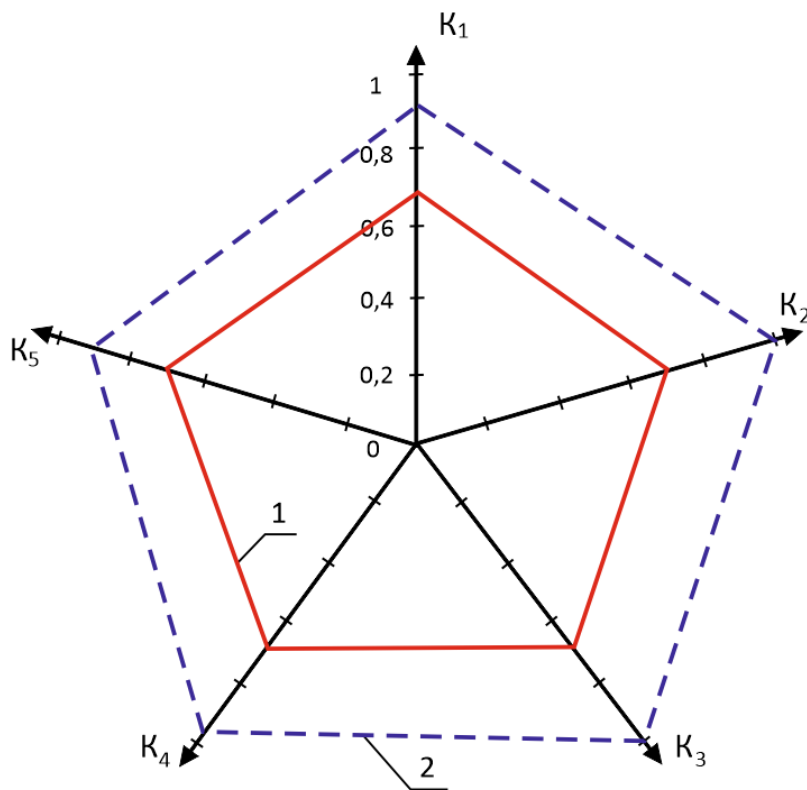


Рисунок 6 – Графическая модель метода подачи бетонной смеси автокраном по схеме «кран-бадья» ($\lambda=0,68$)

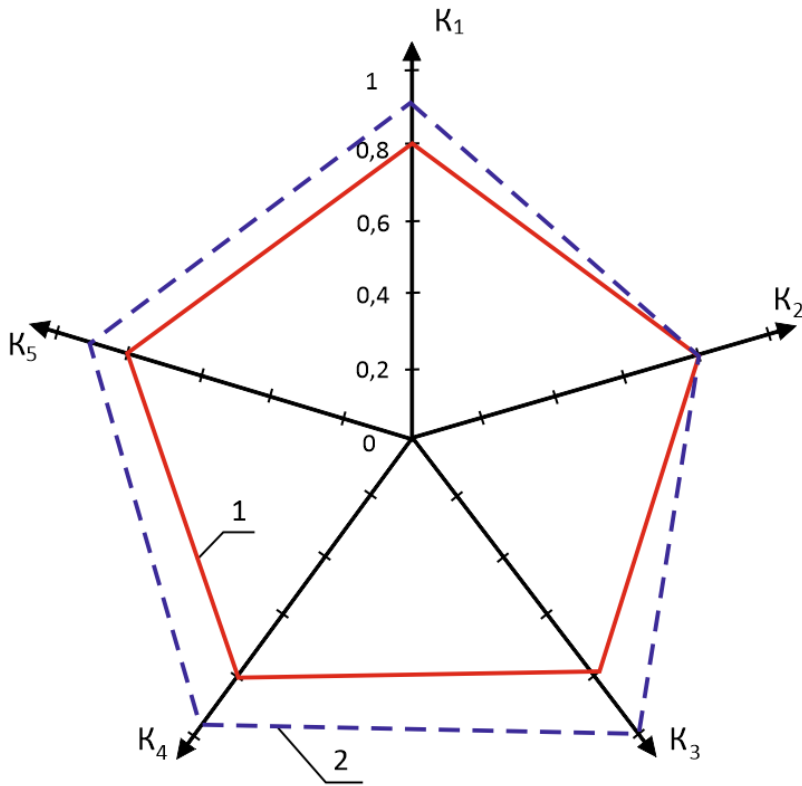


Рисунок 7 – Графическая модель метода подачи бетонной смеси башенным краном по схеме «кран-бадья» ($\lambda=0,8$)

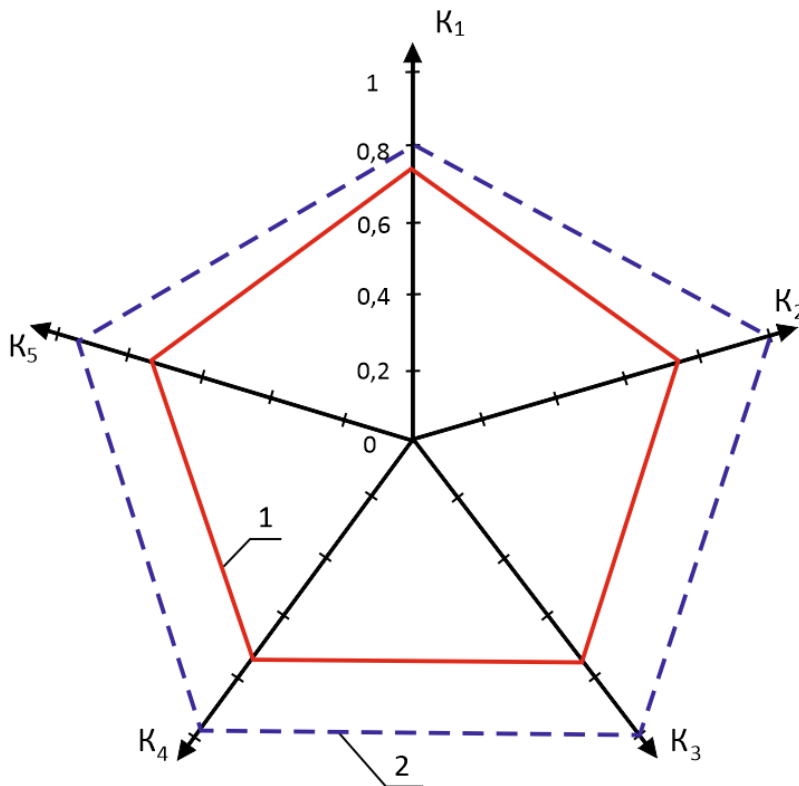


Рисунок 8 – Графическая модель метода подачи бетонной смеси ленточным транспортером ($\lambda=0,77$)

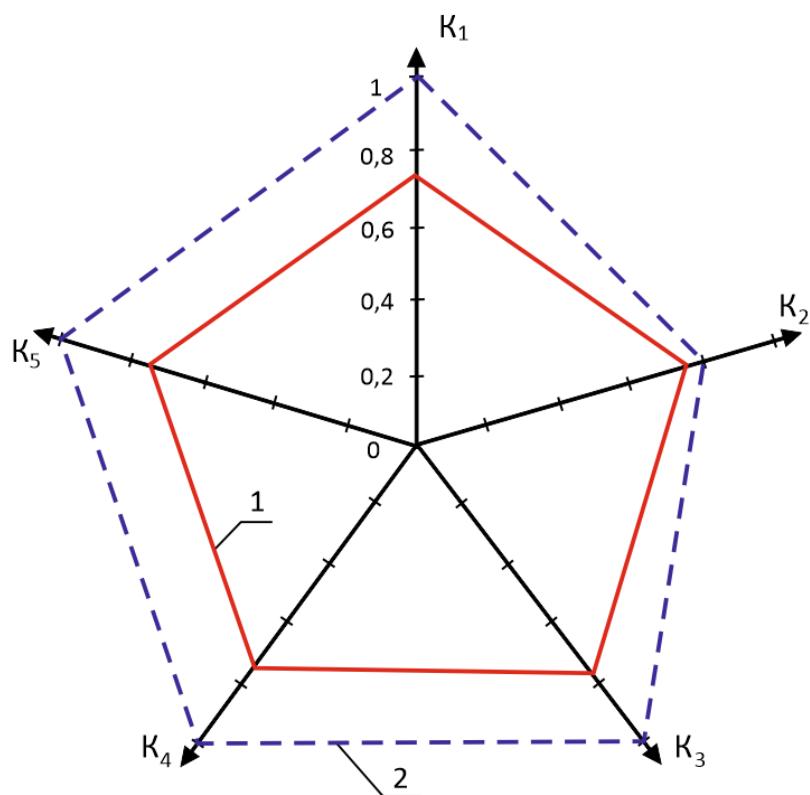


Рисунок 9 – Графическая модель метода подачи бетонной смеси вибротками ($\lambda=0,74$)

Наиболее конкурентоспособным является метод подачи бетонной смеси, у которого минимальное значение из совокупности глобального критерия Лапласа (λ) и откорректированных нормализованных значений локальных критериев внешних факторов (K_1-K_5) будет наибольшим из всех сравниваемых методов.

Таким образом, лучшим для заданных условий производства работ является метод подачи бетонной смеси башенным краном по схеме «кран-бадья» (при коэффициенте Вальда, равном 0,8), а наименее конкурентоспособным – метод подачи смеси по аналогичной схеме, но с помощью автомобильного крана (при минимальном значении сравниваемых критериев 0,68).

1.2. Перспективные технологии подачи бетонной смеси

1.2.1. Особенности и перспективы применения инерционно-конвейерной технологии

В соответствии с ГОСТ 18501-73 [5] инерционным является качающийся конвейер, в котором перемещение груза осуществляется силами инерции без отрыва от желоба. В отличие от вибрационных конвейеров, например, он способен перемещать бетонную смесь по горизонтали и даже по уклону вверх (до 10%), не допуская ее расслаивания.

В 2012 году в результате выполненных научных исследований именно такой инерционный конвейер (и способ его применения при подаче бетонной смеси) был разработан на кафедре технологии строительного производства Ростовского государственного строительного университета, а в 2013 году – защищен патентом на изобретение № 2489556 [11].

Принцип действия разработанного инерционного конвейера заключается в совершении желобом непрерывных циклов продольно направленных возвратно-поступательных движений с частотой $0,8-7,5 \text{ с}^{-1}$ и амплитудой до 0,20 м без жестких ударов при поступательном движении желоба синфазно с находящейся в нем бетонной смесью в направлении ее транспортирования. При этом модуль максимального ускорения разгона желоба меньше модуля максимального ускорения торможения и составляет $1,0-20,0 \text{ м/с}^2$, а при безударном возвратном движении модуль максимального ускорения разгона желоба больше модуля максимального ускорения торможения при поступательном и составляет $3,5-70,0 \text{ м/с}^2$. Модуль максимального ускорения торможения желоба при возвратном движении не больше, чем при поступательном. Циклы движений желоба при транспортировании жестких смесей следуют друг за другом.

Реализация изобретения предусмотрена в двух вариантах транспортера: переставного и навесного – на автобетононасосе.

Если первый вариант работает от собственного двигателя, то второй (навесной) – от установленного на раме автобетоносмесителя толкателя с механическим или гидромеханическим приводом.

Конструктивная схема варианта исполнения переставного конвейера длиной примерно равной 6 м представлена на рисунке 10. Основными элементами транспортера являются: стальной желоб (1), опорно-передвижное устройство (2), поворотная платформа (3), основание (4); загрузочная воронка (5), направляющая насадка (6); элементы источника асимметричных колебаний, включая электродвигатель (7) и гидроцилиндр для изменения угла наклона желоба (8).

Для подачи бетонной смеси на расстояние свыше 6 м можно использовать несколько контейнеров, последовательно устанавливаемых друг за другом с возможностью перегрузки бетонной смеси.

Предложенный вариант навесного инерционного конвейера можно реализовать на автобетоносмесителе с удлиненным лотком (рисунок 11). Для этого на раме автобетоносмесителя под загрузочно-разгрузочным устройством бетоносмесительного барабана следует установить толкатель соосно приведенному в рабочее положение лотку.

В настоящее время предложения по выпуску указанных инерционных конвейеров для транспортирования бетонной смеси рассматриваются сразу несколькими крупными и мелкими производственными предприятиями, в том числе изготовителями автобетоносмесителей. Их заинтересованность в выпуске инерционных конвейеров прежде всего обусловлена высокой потребностью строительства в такого рода строительной технике, перспективой повышения конкурентоспособности уже выпускаемых автобетоносмесителей, а также патентной частотой новой продукции.

Практика применения инерционных конвейеров при подаче бетонной смеси к месту укладки показала их высокую эффективность при устройстве монолитных конструкций преимущественно подземной части зданий и сооружений.

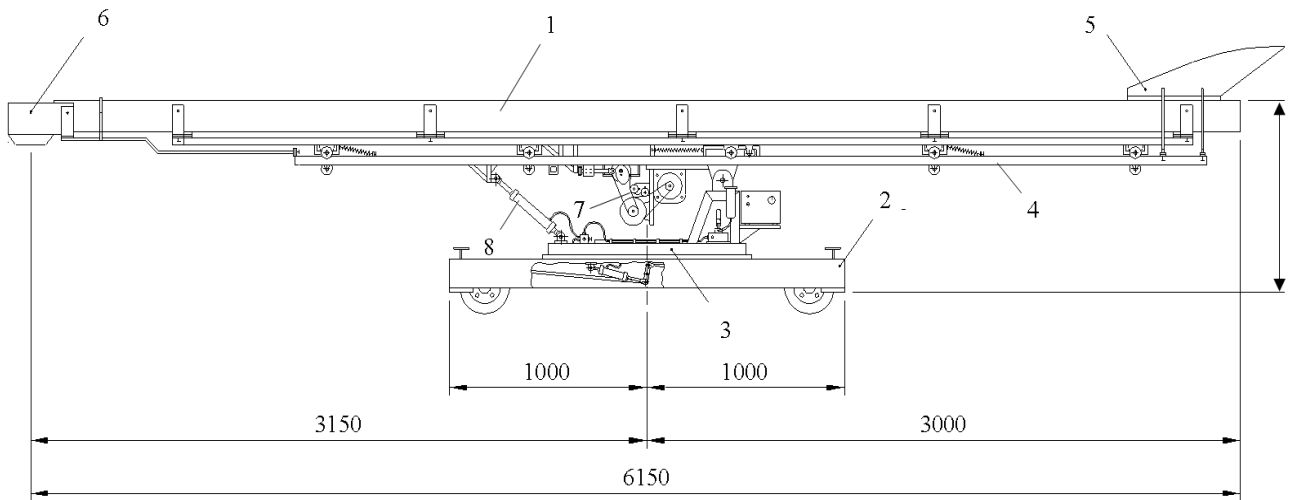


Рисунок 10 - Конструктивная схема переставного инерционного конвейера для подачи бетонной смеси к месту укладки:

- 1 – желоб; 2 – опорно-передвижное устройство, 3 – поворотная платформа, 4 – основание; 5 – загрузочная воронка, 6 – направляющая насадка; 7 – элементы источника асимметричных колебаний; 8 – гидроцилиндр

а)



б)



Рисунок 11 – Общий вид автобетоносмесителя с удлиненным лотком в транспортном (а) и рабочем (б) положении

О перспективности метода подачи бетонной смеси с помощью инерционных конвейеров свидетельствует следующее:

- инерционные конвейеры обладают высокой производительностью, которую можно повышать многократно простым увеличением поперечного сечения желоба;

- при подаче бетонной смеси к месту укладки инерционными конвейерами обеспечиваются благоприятные условия для сохранения однородности подаваемой смеси;

- применение инерционных конвейеров не налагает жестких ограничений на возможность подачи с их помощью бетонной смеси в зависимости от ее состава и технологических свойств;

- при работе инерционных конвейеров бетонная смесь подвергается наименее энергозатратным видам перемещающих воздействий (гравитационному и инерционному);

- при эксплуатации инерционных конвейеров отсутствует необходимость дополнительных перерывов в бетонировании для очистки рабочего органа (желоба) от налипшей бетонной смеси;

- совместное применение инерционных конвейеров с другими средствами доставки бетонной смеси к месту укладки позволяет существенно сокращать сроки строительства;

- инерционные конвейеры отличаются высокой надежностью, относительно малой материалоемкостью конструкции и, следовательно небольшой массой;

- обслуживание инерционных конвейеров, в отличие от вариантов механизации процесса подачи за счет использования кранов, бетононасосов и пневмо-нагнетателей, не требует наличие высококвалифицированного персонала;

- высокая безопасность инерционных конвейеров при подаче бетонной смеси к месту укладки обусловлена отсутствием при их применении таких опасных производственных факторов, как наличие сосудов и трубопроводов, работающих под давлением (в случае применения бетононасосов и пневмо-

нагнетателей), а также опасных зон, например, при подаче бетонной смеси с помощью грузоподъемных кранов.

1.2.2. Опыт применения автобетоносмесителей, оснащенных ленточным конвейером или бетононасосом с распределительной стрелой

Потребность строительного производства в универсальных автотранспортных средствах, способных доставлять бетонную смесь с различной подвижностью и жесткостью к месту укладки не только по временным и постоянным автомобильным дорогам, но и на некоторое расстояние от них, в настоящее время способствовала созданию принципиально новых классов автобетоносмесителей, оснащенных ленточными конвейерами, а также бетононасосом с распределительной стрелой. Общий вид таких автобетоносмесителей в процессе работы показан на рисунках 12 и 13.

Область применения указанных автобетоносмесителей достаточно широкая – они могут успешно применяться при бетонировании как небольших монолитных конструкций, не превышающих по объему вместимость барабана смесителя, так и весьма крупных – объемом до 1000 м³ и более.

Во втором случае автобетоносмесители выполняют лишь вспомогательную функцию, а именно, принимают бетонную смесь, поступающую централизованно на объект, из других автобетоносмесителей и подают ее непосредственно к месту укладки в монолитную конструкцию с помощью ленточного транспортера или бетононасоса с распределительной стрелой.

Дальность подачи бетонной смеси с помощью ленточного транспортеров, которыми оснащены современные автобетоносмесители пока не превышает 20 м, а высота – 7 м. Тем не менее они находят все большее применение в малоэтажном строительстве и при устройстве малозаглубленных монолитных фундаментов. Наиболее перспективно применение таких автобетоносмесителей при подаче малоподвижных бетонных смесей.



Рисунок 12 – Подача бетонной смеси в опалубку фундамента с помощью автобетоносмесителя, оснащенного ленточным конвейером



Рисунок 13 – Подача бетонной смеси в опалубку фундамента автобетоносмесителем, оснащенным бетононасосом с распределительной стрелой

Автобетоносмесители, оснащенные собственным бетононасосом с распределительной стрелой имеют преимущество при бетонировании конструкций объемом до 7 м³ на загородных объектах, а также в ремонтно-строительном производстве при усилении и замене железобетонных конструкций в существующих зданиях.

В случае необходимости (например, при поломке или отсутствии потребности в использовании) ленточный транспортеры и распределительная стрела могут быть временно сняты с автомобиля и его используют как обычный автобетоносмеситель.

1.2.3. Предложения по совершенствованию методов подачи к месту укладки жестких бетонных смесей

При устройстве ряда монолитных конструкций гидротехнических сооружений, автомобильных дорог и фундаментов зданий и сооружений проектом часто предусматривается использование жестких и малоподвижных бетонных смесей с осадкой конуса менее 3 см, подача к месту укладки которых невозможна в обычных автобетоносмесителях, бункерах, а тем более бетононасосами.

Поэтому для их доставки на объект по-прежнему применяют только автосамосвалы, не смотря на все их недостатки, а также на потенциальные возможности автобетоновозов, перечисленные в подразделах 1.1.1 и 1.1.2.

Полностью избавиться от недостатков методов доставки бетонных смесей в автосамосвалах можно применяя известные за рубежом автобетоносмесители принудительного действия, способные перевозить малоподвижные и жесткие бетонные смеси [12]. Такие автобетоносмесители оборудованы кузовом полезной вместимостью до 12 м³ с установленными на вращающейся оси смесительными лопастями. При разгрузке кузов может наклоняться назад относительно опорной рамы на угол до 90° с помощью двух гидроцилиндров. Положение кузова относительно рамы автомобиля изменяется таким образом, что смесь мож-

но выгружать вбок (направо и налево) или назад. Общий вид автобетоносмесителя принудительного действия во время выгрузки бетонной смеси представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Общий вид автобетоносмесителя принудительного действия

Для обеспечения устойчивости автобетоносмесителя принудительного действия при подъеме кузова и разгрузке задний мост шасси машины оборудован двумя гидродомкратами. Кузов сужен к разгрузочному отверстию, расположенному выше уровня транспортируемой смеси, что практически исключает потери смеси в пути и позволяет производить порционную разгрузку, подавая смесь непосредственно в конструкцию или перегрузочные бункеры.

Следует отметить, что автобетоносмесители принудительного действия, в отличие автобетоносмесителей гравитационного типа, можно применять для перевозки и приготовления даже сухих бетонных смесей.

Конструкцией автобетоносмесителя принудительного действия предусмотрены подогрев бетонной смеси в холодное время года выхлопными газами

от работающего двигателя, циркулирующими между двойными стенками кузова, а также покрытие кузова крышкой или брезентовым тентом.

Применение автобетоносмесителей принудительного действия целесообразно при устройстве бетонных подготовок из тощего бетона под фундаменты зданий и сооружений, подавая бетонную смесь непосредственно в бетонируемую конструкцию, или с перегрузкой в ленточный транспортеры или лотки. Из новой техники для подачи жестких бетонных смесей можно порекомендовать инерционные конвейеры [11], а из известных – ковшовые пневмоколесные погрузчики (рисунок 15) и даже экскаваторы (рисунок 16) – желательно с удлиненной рукоятью и уширенным планировочным ковшом с гладкой кромкой [3]. При чем, лучше применять универсальные экскаваторы, оснащенные комплектом быстросменяемых рабочих органов с полезной для уплотнения жесткой бетонной смеси виброплитой.



Рисунок 15 – Подача бетонной смеси ковшовым пневмоколесным погрузчиком



Рисунок 16 – Подача бетонной смеси экскаватором при устройстве монолитной фундаментной плиты

В современной дорожном строительстве бетонную смесь из автосамосвалов перед укладкой ее в конструкцию автомобильной дороги выгружают в бетоноукладчики.

2. ВИБРАЦИОННОЕ УПЛОТНЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1. Традиционные технологии вибрационного уплотнения бетонной смеси

2.1.1. История развития методов вибрационного уплотнения бетонной смеси

При возведении монолитных бетонных сооружений уплотнение бетонной смеси производится вибрированием. Бетонная смесь в рыхлом, неуплотненном состоянии содержит большое количество воздуха. В жестких бетонных смесях объем воздуха достигает 40–45%, а в пластичных до 15 %. Задачей уплотнения является удаление этого воздуха для получения материала с морозостойкой, водонепроницаемой и прочной структурой.

Можно ориентировочно считать, что каждый процент воздуха в бетоне уменьшает его прочность на 3–5%.

Для уплотнения бетонной смеси в монолитных сооружениях первым применил вибрирование французский инженер Е. Фрейсине. Им в 1917 г. на строительстве мостов и ангаров было использовано наружное вибрирование с помощью пневматических молотков, которые крепились к опалубке. Для восприятия вибрационных нагрузок опалубку приходилось дополнительно усиливать.

Следующим этапом развития способа уплотнения было поверхностное вибрирование, впервые примененное на строительстве плотин в США. Поверхностные вибраторы имеют небольшую дальность действия, обычно не превышающую 20 см. В массивные конструкции бетонную смесь приходится укладывать тонким слоем, что приводит к повышению трудоемкости и стоимости бетонных работ.

В конце XIX и в начале XX века для массивных сооружений применяли в основном жесткие бетонные смеси, для уплотнения которых использовались ручные или механические трамбовки.

Глубинное или внутреннее вибрирование, которое начало широко применяться в 30-е годы XX века, во многих случаях заменило наружное и поверхностное уплотнение бетонной смеси. Глубинный вибратор передает колебания непосредственно бетонной смеси, и поэтому энергия его используется эффективно, а толщина укладываемых слоев значительно больше, чем при поверхностном вибрировании. Работа с ручными глубинными вибраторами является трудоемким процессом. При этом возникает опасность вредного воздействия вибрации на бетонщика.

Поэтому были разработаны и внедрены в производство глубинные вибраторы повышенной мощности, которые поддерживаются какими-либо подъемно-транспортными средствами. Такие вибрационные машины позволяют снизить трудоемкость работ и значительно повысить качество уплотнения.

Несмотря на успешное развитие ряда безвибрационных методов бетонирования монолитных и сборных конструкций (набрызг, прессование, центрифугирование, раздельное бетонирование), они продолжают оставаться специальными, дополняющими основную технологию бетонирования, основанную на использовании виброуплотнения смесей.

Ведущая роль в развитии методов вибрационного уплотнения бетонной смеси принадлежит гидротехническому строительству.

В нашей стране вибрирование бетона впервые довольно широко было использовано при строительстве гидроузла Свирьстрой III (1928–1933 гг.). На Свирьстрое III применялись тяжелые поверхностные вибраторы. Автором большинства конструкций вибраторов является Л.П. Петрунькин.

При строительстве канала им. Москвы (1932–1937 гг.) вибрирование стало уже основным способом уплотнения бетонной смеси. На строительстве работало до 870 вибраторов, из них: поверхностных – 540, наружных – 200 и глубинных – 130. Глубинные вибраторы применялись преимущественно для уплотнения бетонной смеси в местах с часто расположенной арматурой.

При строительстве гидротехнических узлов на Волге вибрационная технология уплотнения бетонной смеси получила дальнейшее развитие. Увеличи-

лась доля глубинных вибраторов, что позволило снизить трудоемкость бетонных работ. Развитие способа глубинного уплотнения в эти годы связано с научной и производственной деятельностью А.Е. Десова, Е.П. Миклашевского.

Распространение глубинного вибрирования в послевоенные годы связано с увеличением объемов гидротехнического и промышленного строительства. В этот период Б.Н. Вознесенским и В.Ф. Скориковым разработан глубинный вибратор И-50, выпуск которого был освоен заводом «Красный маяк».

Разработка и внедрение в производство этого вибратора явилось значительным достижением в области вибрационной техники. Оригинальная и простая конструкция вибратора дала возможность уменьшить наружный диаметр корпуса и снизить массу вибратора. Вибратор имел частоту колебаний 96,7 Гц. На его основе в 1950 г. был создан более мощный вибратор И-86, который неоднократно модернизировался и ему последовательно были присвоены марки И-86А, С-826, ИВ-60.

Кроме глубинных вибраторов И-50 и И-86 завод «Красный маяк» освоил выпуск глубинных дебалансных вибраторов И-21 с гибким валом. Вибратор имел два сменных рабочих наконечника диаметром 51 и 76 мм, с частотой колебаний около 112 Гц.

На Волгодонстрое осуществлен первый опыт применения пакетов вибраторов. Идея пакетного вибрирования была выдвинута еще в 1936 г. С.В. Шестоперовым и П.М. Миклашевским.

Пакеты вибраторов в опытном порядке были использованы на строительстве Цимлянского гидроузла. Они оказались эффективным средством для выравнивания и уплотнения бетонной смеси.

При строительстве Бухтарминской ГЭС были применены пакеты мощных глубинных вибраторов С-649, разработанных ВНИИстройдормашем. Длина рабочей части вибратора составляла 1500 мм, диаметр корпуса – 194 мм. Масса вибратора равнялась 230 кг, мощность двигателя – 4 кВт, частота колебаний – 91,7 Гц.

Принципиально новый тип мощного глубинного вибратора – плоский виброуплотнитель был создан в конце 60-х годов XX века. Он позволил повысить производительность труда и качество уплотнения.

Впервые за рубежом подвесной пакет глубинных вибраторов был применен на строительстве плотины «Фонтана» (США). Широкое распространение получили пакеты глубинных вибраторов, смонтированные на малогабаритных тракторах. Такой способ уплотнения бетонной смеси применяется в Швейцарии, США, Франции и других странах.

Метод вибрационного уплотнения бетонной смеси развивался на основе теоретических и экспериментальных исследований и опыта эксплуатации.

Постепенно была создана теория глубинного вибрирования и разработана методика проектирования глубинных вибраторов.

Наиболее существенные теоретические исследования выполнены П.М. Миклашевским, Б.Н. Вознесенским, А.Е. Десовым, Л.П. Петрунькиным, Б.А. Белостоцким, М.П. Зубановым, В.Л. Саковичем, Б.Г. Гольдштейном, И.И. Быховским и Б.А. Царьковым. Из зарубежных ученых необходимо отметить работы М. Мари (Франция), С. Эрсой и Ж. Гарбоцем (Германия) и др.

2.1.2. Сущность вибрационного воздействия на бетонную смесь

Вибрация – вид механического движения, который характеризуется периодичностью, небольшой длительностью периода колебаний, малой амплитудой смещения. Используемые при уплотнении бетонной смеси вибрационные колебания имеют частоту от 5 до 300 Гц и амплитуду смещения соответственно от 1 см до десятых долей миллиметра.

В процессе вибрирования частицы бетонной смеси совершают вынужденные колебания. Энергия вибратора расходуется на преодоление сил трения и сцепления между частицами, на разрушение структуры цементного теста. Освобожденная от сил сцепления и сухого трения, бетонная смесь ведет себя

как ньютоновская вязкая жидкость с объемной массой, равной объемной массе смеси.

Частицы крупных заполнителей, более тяжелые, чем цементное тесто, под действием силы тяжести преодолевают вязкое сопротивление цементного теста и раствора и перемещаются вниз, вследствие чего происходит самоуплотнение бетонной смеси.

При глубинном вибрировании рабочая часть вибратора погружается в бетонную смесь и сообщает ей горизонтальные колебания. Возникают продольные упругие волны, расходящиеся в радиальных направлениях и переносящие энергию колебаний в среде. Глубинное вибрирование имеет ряд положительных сторон, особенно при бетонировании массивных монолитных конструкций.

Рабочая часть поверхностных вибраторов колеблется в большинстве случаев с ускорением не больше $3g$, где g – ускорение силы тяжести. При более высоких ускорениях вертикальных колебаний нарушается контакт между рабочей частью и бетонной смесью, и машина переходит с вибрационного на виброударный режим.

Рабочая часть глубинных вибраторов колеблется с ускорением $20\text{--}50g$ без отрыва от уплотняемой смеси, то есть при глубинном вибрировании можно передавать бетонной смеси больше энергии, чем при поверхностном. Это способствует увеличению дальности действия вибратора.

Для уплотнения бетонной смеси горизонтальные колебания эффективнее вертикальных, так как уже небольшие горизонтальные перемещения частиц крупного заполнителя в разжиженной вибрированием смеси способствуют процессу самоуплотнения под действием сил тяжести.

При глубинном вибрировании толщина уплотняемого слоя бетонной смеси значительно больше, чем при поверхностном уплотнении, что позволяет снизить трудоемкость работ при бетонировании массивных конструкций.

Глубинное вибрирование имеет недостатки по сравнению с поверхностным. Работать с ручным глубинным вибратором тяжелее, чем с поверхност-

ным. Кроме того, при глубинном вибрировании труднее защитить бетонщика от вредного воздействия вибрации.

Эти недостатки отсутствуют в подвесных глубинных вибраторах, которые управляются дистанционно.

Допустимое суммарное время контакта бетонщика с вибратором за время восьмичасовой рабочей смены с учетом факторов рабочей среды и трудового процесса (шум и вибрация) не должно превышать 70 мин.

2.1.3. Классификация методов и средств вибрационного уплотнения бетонной смеси

Вибраторы для бетонной смеси подразделяются на глубинные, поверхностные и прикрепляемые (наружные).

Глубинные вибраторы можно разделить на ручные и подвесные (иногда называемые навесными). Ручные вибраторы имеют небольшую массу (как правило, до 30 кг) и обслуживаются одним бетонщиком, реже двумя. Эти вибраторы используют как на строительных площадках, так и на полигонах, в формовочных цехах заводов железобетонных изделий и конструкций. Вибраторы выпускают с диаметром вибронаконечника от 22 до 140 мм, что позволяет применять их для уплотнения бетонных смесей в стесненных условиях, в густоармированных тонкостенных конструкциях, а также для производства сравнительно больших объемов бетонных работ в малоармированных конструкциях, например, при устройстве фундаментов или в гидротехническом строительстве.

Подвесные глубинные вибраторы в основном используют для разравнивания и уплотнения малоподвижных бетонных смесей в массивных неармированных или малоармированных конструкциях гидротехнических сооружений.

Такие вибраторы, имеющие диаметр корпуса 130–200 мм и массу до 250 кг, являются навесным оборудованием самоходных машин, кран-балок, манипуляторов и других механизмов, осуществляющих перемещение вибраторов по фронту работ и их погружение, и извлечение из бетонной смеси. Использо-

ние этих высокопроизводительных машин позволяет внедрить технологию скоростного бетонирования массивных конструкций.

По типу привода ручные глубинные вибраторы подразделяют на электромеханические, пневматические и с приводом от двигателя внутреннего сгорания. В электромеханических вибраторах в качестве привода используются, как правило, асинхронные трех- или однофазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

В зависимости от расположения электродвигателя эти вибраторы подразделяют на вибраторы с гибким валом, со встроенным электродвигателем и электродвигателем, расположенным в верхней части вибратора.

Вибраторы последнего типа не нашли широкого применения и в нашей стране не выпускаются. За рубежом такие вибраторы с диаметром вибронаконечника 23–45 мм и массой от 3,5 до 13,7 кг выпускаются японскими фирмами Hayashi, Fureki, Tokuden.

В отечественной практике строительства наибольшее распространение получили ручные глубинные вибраторы с гибким валом, их выпуск составляет более 90 % от общего выпуска глубинных вибраторов.

Основным преимуществом вибраторов этого типа является возможность получения высококачественных колебаний на базе планетарного вибромеханизма без применения преобразователей частоты тока или специальных мультипликаторов.

Вместе с тем, вибраторы с гибким валом имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение и делающих предпочтительным применение вибраторов со встроенным электродвигателем.

Основным недостатком является невысокая надежность гибкого вала, определяющая долговечность вибратора в целом.

Кроме того, мощность, передаваемая валом от электродвигателя к вибронаконечнику, позволяет применять последний с диаметром не более 75 мм.

У вибратора с гибким валом и планетарным вибромеханизмом часто бывает затруднен запуск из-за отсутствия контакта между бегунком и беговой до-

рожкой. Для запуска вибратора в этом случае необходимо произвести удар вибронаконечником о жесткое основание. По этой причине невозможно запустить остановившийся вибратор, если вибронаконечник погружен в бетонную смесь. Вибраторы с гибким валом передают на руки бетонщика значительную вибрацию, так как при работе вибратор удерживается за гибкий вал, являющийся источником вибрации с частотой вращения сердечника вала.

Вибраторы со встроенным электродвигателем обладают большей безопасностью, так как вибратор имеет виброгасящий резиновый рукав или специальную рукоятку. У них нет недостатков, присущих вибраторам с гибким валом. В вибраторах этого типа электродвигатель встраивается в корпус вибронаконечника, а вал двигателя соединяется непосредственно с вибромеханизмом, что повышает их надежность. Вибраторы со встроенным двигателем выпускаются с диаметром вибронаконечника от 30 до 130 мм.

Недостатком глубинных вибраторов со встроенным электродвигателем является необходимость применения для их питания преобразователей частоты тока.

В пневматических ручных глубинных вибраторах для привода вибромеханизма используется энергия сжатого воздуха. Преимуществами вибраторов этого типа является простота конструкций и обслуживания, легкость, надежность, возможность регулирования частоты колебаний, электро- и взрывобезопасность. К недостаткам пневматических вибраторов следует отнести высокий уровень звуковой мощности, высокую энергоемкость и ненадежную работу при отрицательных температурах.

Применение глубинных пневматических вибраторов может оказаться экономически целесообразным на объектах, оборудованных централизованной системой подачи сжатого воздуха, а также в случаях работы во взрывоопасных средах.

За рубежом ручные глубинные пневматические вибраторы выпускаются рядом фирм: Netter, Wacker, Weber, Laier (Германия), Dynapac (Швеция), PTC (Франция) и др.

В СССР до 1980 г. Одесским заводом строительно-отделочных машин также выпускались глубинные пневматические вибраторы ВП-1 и ВП-3. Однако широкого применения они не нашли и в настоящее время не выпускаются.

Вибраторы с приводом от двигателя внутреннего сгорания обладают таким важным преимуществом, как автономность питания. Это позволяет применять их на объектах, где нет электроэнергии.

За рубежом вибраторы этого типа с бензиновыми и дизельными двигателями получили широкое применение. Наличие гибкого вала в конструкции этих вибраторов является причиной перечисленных выше недостатков. Поверхностные вибраторы с таким приводом также нашли широкое распространение.

Подвесные глубинные вибраторы по типу привода подразделяются на электромеханические и гидравлические.

Электромеханические подвесные вибраторы, выпускаемые в настоящее время, имеют вынесенный и встроенный в корпус электродвигатель и планетарный или дебалансный вибромеханизм. Управление вибратором осуществляется от специального пульта, расположенного либо на рамке пакета, либо в кабине крана или самоходной машины.

Обязательным является применение бетонщиком средств защиты от поражения электрическим током, так как питание этих вибраторов осуществляется током высокого напряжения.

Все более широкое применение получают в последнее время гидравлические вибраторы (вибраторы с гидроприводом). Благодаря общеизвестным преимуществам гидропривода, таким, как высокая удельная мощность, небольшие размеры и масса, низкий уровень звуковой мощности, возможность регулирования параметров, вибраторы этого типа перспективны.

Целесообразно применение подвесных гидравлических вибраторов на гидрофицированных самоходных машинах, так как в этом случае решается вопрос питания их от гидросистемы машины.

Важным преимуществом глубинных гидравлических вибраторов является возможность регулировки частоты колебаний. Это позволяет варьировать параметры вибрации в зависимости от конкретных условий работ и повышает качество уплотнения бетонной смеси.

Факторами, ограничивающими их применение, являются более высокая (по сравнению с электроприводом) стоимость и зависимость параметров гидропривода от температуры окружающей среды.

За рубежом глубинные подвесные вибраторы с гидроприводом выпускаются фирмами: Vibro-Velken (Швеция), Netter (Германия), Nayashi (Япония) и др.

Серийный выпуск глубинных гидравлических вибраторов в нашей стране не освоен.

Вибраторы электрические глубинные ручные с гибким валом являются в нашей стране наиболее распространенным типом машин для укладки и уплотнения бетонных смесей.

В настоящее время на Ярославском заводе «Красный маяк» освоен выпуск глубинных ручных вибраторов с гибким валом, технические характеристики которых приведены в таблице 6.

В рабочий комплект вибраторов входят электродвигатель, гибкий вал и вибронаконечник (рисунок 17).

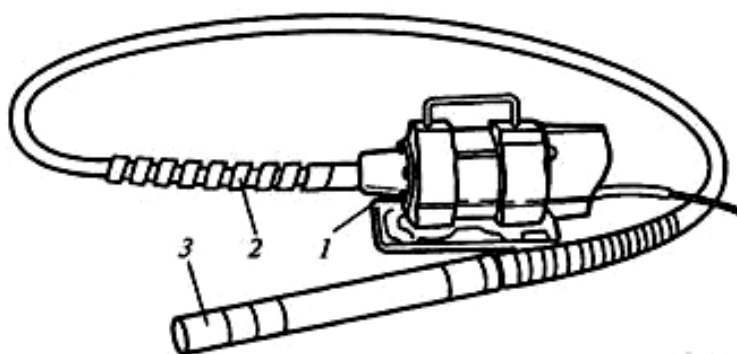


Рисунок 17 – Глубинный ручной вибратор с гибким валом (рабочий комплект):

1 – электродвигатель; 2 – вал силовой гибкий; 3 – вибронаконечник

Таблица 6 – Технические характеристики отечественных электрических ручных глубинных вибраторов с гибким валом

| Наименование параметра | Значение | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | ИВ-75/ ЭПК-1300/28 | ИВ-113/ ЭПК-1300/38 | ИВ-116А/ ЭПК-1300/76 | ИВ-117А ЭПК-1300/51 |
| Вибронаконечник: | | | | |
| диаметр, мм | 28 | 38 | 76 | 51 |
| длина, мм | 415 | 415 | 430 | 410 |
| частота колебаний, Гц | 330 | 330 | 210 | 285 |
| вынуждающая сила, кН | 0,784 | 2 | 6 | 3,85 |
| тип вибрационного механизма | планетарный | | | |
| Электродвигатель: | | | | |
| тип | трехфазный асинхронный: ИВ-75, ИВ-113, ИВ-116А, ИВ-117А; однофазный асинхронный: ЭПК 1300/28, ЭПК 1300/38, ЭПК 1300/51, ЭПК 1300/76 | | | |
| мощность, кВт | 0,75 | 0,75 | 1 | 0,75 |
| напряжение, В | 42/220 | 42/220 | 42/220 | 42/220 |
| частота тока, Гц | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Масса, кг: | | | | |
| вибронаконечника | 1,4 | 2,65 | 8,5 | 4,5 |
| электродвигателя | 5 | 9 | 9 | 9 |
| рабочего комплекта | 21,9 | 27,2 | 33 | 29 |

В полный комплект входят электродвигатель, два гибких вала и два вибронаконечника.

В конструкции вибронаконечников глубинных ручных вибраторов с гибким валом предусмотрены фрикционно-планетарные вибромеханизмы с внутренней или наружной обкаткой. Для этого в корпусе вибронаконечника имеются беговая дорожка и бегунок, соединенный со шпинделем приводного вала резинометаллической муфтой. Шпиндель установлен в подшипниках.

К вибраторам с внутренней обкаткой относится вибратор ИВ-116А, а с наружной обкаткой – вибраторы меньшего диаметра ИВ-75, ИВ-113, ИВ-117А.

У вибронаконечника с наружной обкаткой в корпусе установлена втулка с внутренней конической поверхностью, а бегунок обкатывается по беговой дорожке своей наружной конической поверхностью (рисунок 18 а).

При внутренней обкатке роль беговой дорожки выполняет наружная коническая поверхность сердечника, установленного в корпусе (рисунок 18 б). При этом бегунок выполнен с внутренней конической расточкой, поверхность которой контактирует с сердечником при работе вибратора. Частота колебаний зависит от геометрических размеров дорожки и бегунка вибратора.

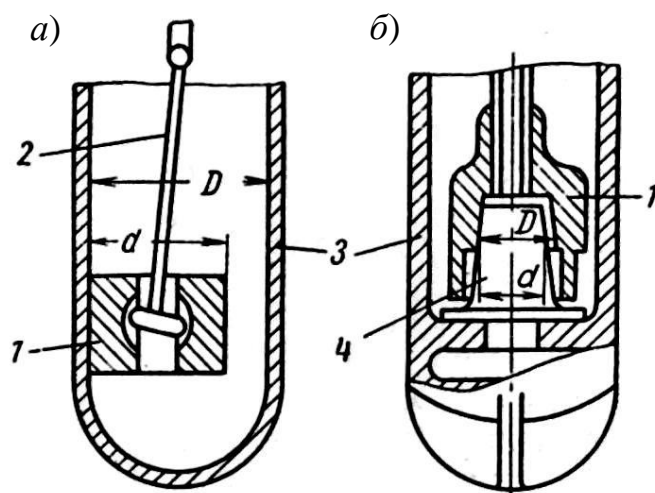


Рисунок 18 – Схемы фрикционно-планетарного вибромеханизма

a – с наружной обкаткой бегунка; *б* – с внутренней обкаткой:

1 – бегунок; 2 – приводной вал; 3 – корпус; 4 – сердечник

Как уже отмечалось, у вибраторов с наружной обкаткой затруднен запуск. Кроме того, в процессе работы происходит повышенный износ подшип-

никового узла шпинделя, и смазка через образовавшиеся зазоры попадает на рабочие поверхности бегунка и корпуса, что приводит к их проскальзыванию относительно друг друга и нарушению работоспособности вибратора (прекращению вибрации).

Вибраторы с внутренней обкаткой запускаются легче, у них затруднено попадание смазки на рабочие поверхности вибромеханизма. Однако стремление к увеличению вынуждающей силы повышает контактные напряжения на сердечник и снижает надежность вибратора. Кроме того, в вибронаконечниках малого диаметра применение внутренней обкатки часто оказывается неосуществимым из-за невозможности реализовать заданное значение статического момента в малых габаритах.

За рубежом в вибраторах с гибким валом применяют, как правило, схему с наружной обкаткой.

У отечественных вибраторов гибкий вал, служащий для передачи крутящего момента от приводного двигателя к бегунку вибронаконечника, имеет длину 3 м, резьбовое соединение с вибронаконечником и специальное фасонное соединение с двигателем. Диаметр сердечника вала – 14 мм, наружный диаметр брони – 37 мм, масса вала – 12 кг.

Зарубежные фирмы с целью расширения эксплуатационных возможностей вибраторов этого типа, а также повышения удобства при работе и облегчения труда рабочих бетонщиков, комплектуют вибраторы валами различной длины от 0,4 до 6 м. Наибольшее распространение получили вибраторы с гибким валом длиной 4–6 м.

Гибкие валы снабжают унифицированными соединительными муфтами, что позволяет при необходимости увеличить общую длину вала до 15 м.

При работе в стесненных условиях, а также при проработке небольших объемов бетонных смесей вибраторами малых диаметров (например, при замоноличивании стыков панелей или при укладке смесей в тонкостенные конструкции), целесообразно применение компактных вибраторов с коротким гибким валом (0,4–1 м), при этом приводной двигатель может удерживаться бе-

тонщиком в руках или быть подвешен на специальном ремне. Соединение гибкого вала с приводным двигателем осуществляется через муфту, обеспечивающую заданное направление вращения вала.

Выбор того или иного глубинного вибратора для изготовления армированных конструкций необходимо производить с учетом расстояния между стержнями арматуры, которое должно быть не менее 1,5 диаметра вибронаконечника.

Ручные глубинные вибраторы с гибким валом подключают к источникам переменного тока пониженного напряжения до 42 В или через защитно-отключающее устройство ЗОУ (переменное напряжение 220 В).

В качестве источника питания вибратора могут быть использованы понижающие разделительные трансформаторы (например, марки ТСЗИ-2,5) или переносные газовые, бензиновые или дизельные электрогенераторы с достаточной электрической мощностью.

Хранить ручные глубинные вибраторы с гибким валом следует в сухом помещении. Условия хранения – 2, условия транспортирования – 5 по ГОСТ 15150-69.

Гибкие валы необходимо хранить в прямолинейном горизонтальном положении или согнутыми по радиусу не менее 200 мм для ИВ-75, ЭПК-1300/28 и не менее 300 мм для остальных вибраторов, если иное не указано в руководстве по эксплуатации конкретного вибратора.

Вибраторы электрические глубинные ручные высокочастотные со встроенным электродвигателем нашли широкое применение в мировой практике строительства. Некоторые зарубежные фирмы, такие как Bosch (Германия), Вато (Италия), отказались в последнее время от выпуска глубинных вибраторов с гибким валом и полностью перешли на производство вибраторов со встроенным электродвигателем.

Простота и надежность, удобство в работе и технологичность в изготовлении делают эти вибраторы перспективными, в части расширения их производства и применения.

Глубинные ручные высокочастотные вибраторы со встроенным электродвигателем предназначены для уплотнения бетонной смеси при укладке ее в конструкции с различной степенью армирования с шагом между стержнями арматуры не менее 1,5 диаметра вибронаконечника.

Отечественные ручные глубинные вибраторы со встроенным электродвигателем выпускают трех типов: ИВАР-38, ИВАР-50, ИВАР-75 (таблица 7).

Вибраторы серии ИВАР (рисунок 19 а) состоят из вибронаконечника (1), коробки выключателя (3) и соединяющего их защитного резинометаллического рукава (2). К коробке выключателя подведен питающий кабель (длиной 8 м), оснащенный соединительной вилкой.

В герметически закрытом корпусе вибронаконечника встроены трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором и дебаланс, при вращении которых возникает вынуждающая сила. Смазка подшипников осуществляется веретенным маслом, залитым в нижнюю часть корпуса вибронаконечника.

Из-за особенностей конструкции для работы высокочастотного вибратора требуется напряжение с частотой 200 Гц. Для получения такого напряжения применяются инверторы (преобразователи частоты). Инверторы преобразуют входное однофазное напряжение 220 В с частотой 50 Гц в трехфазное выходное напряжение 42 В с частотой 200 Гц, безопасное для жизни человека. Вибраторы серии ИВАР не нуждаются в заземлении.

В последние годы на строительном рынке появились усовершенствованные вибраторы со встроенными электродвигателем и преобразователем частоты трех типов: ИВАИ-38, ИВАИ-50, ИВАИ-75 (таблица 7).

Вибраторы серии ИВАИ (рисунок 19 б) состоят из вибронаконечника (1) и преобразователя частоты (4), изготовленного в алюминиевом корпусе с сетевым проводом (длиной 8 м), с закрепленным на нем устройством электрозащитного отключения, рассчитанным на номинальный отключающий дифференциальный ток не более 30 мА. Вибронаконечник и преобразователь частоты соединены между собой резинометаллическим рукавом (2).

Таблица 7 – Технические характеристики отечественных электрических глубинных ручных вибраторов со встроенным электродвигателем

| Наименование параметра | Значение параметра | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | ИВАР-38 | ИВАР-50 | ИВАР-75 | ИВАИ-38 | ИВАИ-50 | ИВАИ-75 |
| Вибронаконечник: | | | | | | |
| диаметр, мм | 38 | 50 | 75 | 38 | 50 | 75 |
| длина, мм | 280 | 412 | 440 | 280 | 412 | 440 |
| частота колебаний, Гц | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| вынуждающая сила, кН | 0,98 | 2,9 | 7,9 | 0,98 | 2,9 | 7,9 |
| Электродвигатель: | | | | | | |
| тип | асинхронный, трехфазный | | | | | |
| мощность, кВт | 0,3 | 0,38 | 1 | 0,3 | 0,38 | 1 |
| напряжение, В | 42 | 42 | 42 | 220 | 220 | 220 |
| частота тока, Гц | 200 | 200 | 200 | 50 | 50 | 50 |
| Масса вибратора, кг: | 7 | 10 | 15 | 8 | 11 | 16 |

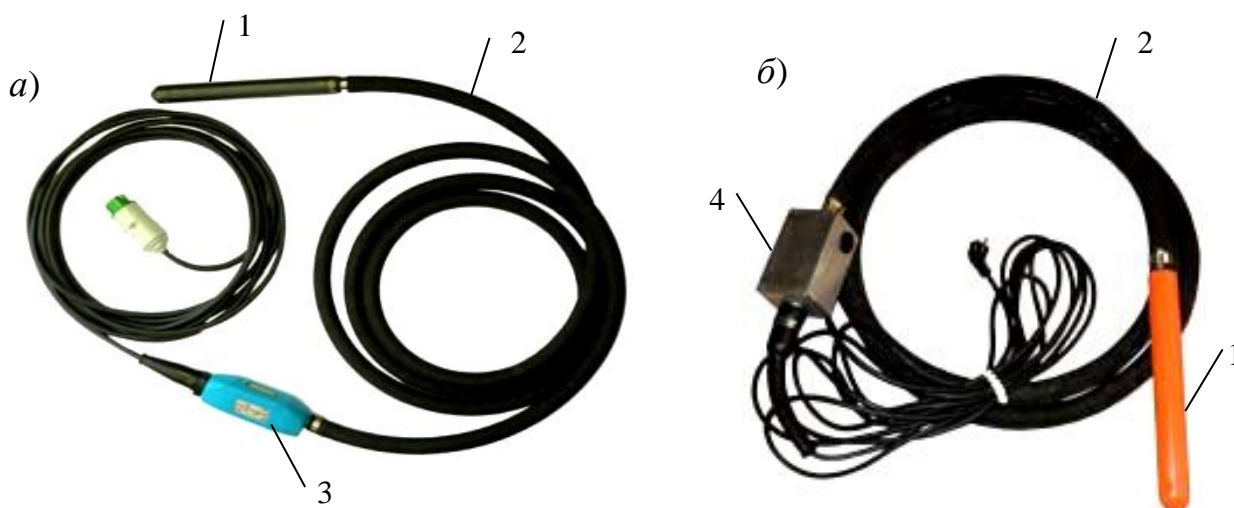


Рисунок 19 – Глубинные ручные вибраторы со встроенным электродвигателем:

a – серии ИВАР; *б* – серии ИВАИ;

1 – вибронаконечник; 2 – резинометаллический рукав;

3 – коробка выключателя; 4 – преобразователь частоты

Вибраторы серии ИВАИ необходимо подключать к однофазной электрической сети напряжением 220 В и частотой тока 50 Гц.

Запрещается эксплуатировать вибраторы серии ИВАИ в условиях воздействия капель и брызг, а также на открытых площадках во время снегопада и дождя и находиться в зоне действия вибрации на расстоянии менее 0,5 м от вибронаконечника без специальной обуви с защитными свойствами подгруппы Мв (от вибрации) по ГОСТ 12.4.10383.

Широкое применение в современном строительстве тонкостенных густоармированных конструкций привело к необходимости использования вибраторов с диаметром вибронаконечника менее 50 мм и удлиненным защитным рукавом, производство которых освоено в нашей стране и за рубежом.

Так, например, фирмой Bosch (Германия) выпускаются вибраторы с защитным рукавом: 0,8; 5; 7,5; 10 м, а также с рукояткой.

Вибраторы фирмы Tremix (Швеция), выпускаются в трех исполнениях: с длинным защитным рукавом (4 м) и встроенным в рукав автоматическим выключателем; с длинным защитным рукавом и ручным выключателем; с коротким защитным рукавом (0,5 м), рукояткой и ручным выключателем. Вибраторы моделей ES 36 и ES 50 предназначены для укладки бетонных смесей в конструкции с густым армированием и для работы в стесненных условиях. Вибраторы моделей ES 57 и ES 65 целесообразно использовать при бетонировании среднеармированных и неармированных конструкций.

Для уплотнения бетонных смесей в труднодоступных местах, например, при бетонировании стыков сборных или сборно-монолитных сооружений фирмой Mikasa (Япония) выпускаются вибраторы серии MVJ-PL с длинной жесткой штангой и диаметром вибронаконечника 30 и 40 мм. Общая длина вибратора достигает 3,5 м.

Большинство зарубежных фирм стремятся охватить количеством типов вибраторов все возможные условия производства работ, о чем свидетельствует широкий диапазон значений диаметра вибронаконечника: от 30 до 131 мм.

Вибраторы с длинным защитным рукавом (более 4 м) применяют при уплотнении бетонных смесей при устройстве мостовых пролетных строений, буронабивных свай, столбчатых фундаментов и др. Более легкие вибраторы с коротким рукавом и рукояткой широко используют при бетонировании перекрытий, ленточных и плитных фундаментов, фундаментов под оборудование и др.

Фирмы Netter, Dynapac, Tremix оснащают некоторые модели вибраторов автоматическими выключателями, встроенными в защитный рукав, на расстоянии 0,4–0,8 м от вибронаконечника, которые обеспечивают замыкание контактов цепи питания и включение двигателя при отклонении вибронаконечника от горизонтали более чем на 15 градусов. Автоматический выключатель делает удобным обслуживание вибратора. Однако вибраторы с автоматическими выключателями неприменимы при бетонировании конструкции сложной конфигурации, когда проработка бетонной смеси в отдельных участках производится горизонтально расположенным вибронаконечником.

Удаленность вибратора от источника питания, определяемая длиной кабеля, не должна превышать 20 м, так как в противном случае из-за падения напряжения возможен неустойчивый режим его работы. При этом рекомендуется площадь сечения проводящей части кабеля принимать не менее 6 мм².

При температуре воздуха ниже минус 10 °С пуск вибратора затруднен в результате повышения вязкости жидкой смазки.

Требуется прогрев вибратора или кратковременное трехкратное включение его в сеть продолжительностью до 10 сек. с интервалом 2–3 мин.

Хранить ручные глубинные высокочастотные вибраторы со встроенным электродвигателем следует в наклонном положении в сухом помещении во избежание вытекания смазки. Условия хранения – 2, условия транспортирования – 5 по ГОСТ 15150-69.

Область применения **ручных вибраторов со встроенным пневмодвигателем** та же, что и у других глубинных вибраторов – уплотнение бетонной сме-

си. В отечественном строительстве применяют глубинные пневматические вибраторы четырех типов: 20/160, 28/180, 35/120, 77/305 (таблица 8).

Конструктивно пневматический вибратор состоит из корпуса, рукавов для подвода и отвода воздуха и крана для выключения вибратора и регулирования частоты колебаний.

В корпусе вибратора размещен планетарный вибромеханизм, который представляет собой пневмодвигатель, состоящий из полый оси, неподвижно установленной в корпусе, и цилиндрического ротора, взаимодействующего с осью внутренней поверхности. Ось имеет продольный паз, в котором установлена лопатка, разделяющая пространство между осью и ротором на две полости: рабочую и выхлопную.

Таблица 8 – Технические характеристики отечественных глубинных ручных вибраторов со встроенным пневмодвигателем

| Наименование параметра | Значение параметра | | | |
|---------------------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|
| | 20/160 | 28/180 | 35/210 | 77/305 |
| Вибронаконечник: | | | | |
| диаметр, мм | 44 | 60 | 76 | 146 |
| длина, мм | 330 | 370 | 410 | 620 |
| расход сжатого воздуха, м ³ /мин | 0,8–1,5 | 1,2–2 | 1,5–2,5 | 16–20 |
| частота колебаний, Гц | 120–275 | 115–250 | 110–240 | 100–150 |
| вынуждающая сила при давлении 0,6 кПа, кН | 0,98 | 2,9 | 7,9 | 0,98 |
| Масса вибратора, кг: | 2,2 | 3,9 | 6,1 | 38 |

При работе вибратора со встроенным пневмодвигателем сжатый воздух поступает во внутреннюю полость оси, а оттуда через радиальные отверстия – в рабочую камеру.

Под действием сжатого воздуха ротор обкатывается вокруг оси, генерируя круговые колебания корпуса в плоскости, перпендикулярной его оси. Частота колебаний зависит от давления воздуха и регулируется при помощи крана.

Для подвода и отвода воздуха в таких вибраторах используется конструкция «двойного рукава», при которой сжатый воздух поступает в рабочую полость оси по внутреннему рукаву, а отработанный воздух отводится по соосно расположенному наружному.

Преимущество вибраторов со встроенным пневмодвигателем заключается в их абсолютной электробезопасности.

Недостаточная надежность вибраторов этого типа появляется при использовании их в холодное время года из-за образования и замерзания конденсата водяного пара внутри корпуса вибратора.

Кроме того, интенсивному износу подвержена разделительная лопатка из-за постоянного ее контакта с вращающимся с высокой скоростью ротором-бегунком. Для обеспечения надежности работы машины в течение установленного срока службы вибраторы обычно снабжаются запасными лопатками.

Подвесные вибраторы являются одним из основных средств механизации бетонных работ.

В нашей стране серийно выпускают глубинные подвесные вибраторы ИВ-114А и ИВ-95А (таблица 9).

Вибратор ИВ-95А состоит из вибронаконечника и защитного резинотканевого рукава с расположенным в нем кабелем (рисунок 20). В герметичном корпусе вибронаконечника встроен электродвигатель и дебаланс, при вращении которых возникает вынуждающая сила.

Этот вибратор предназначен для укладки бетонной смеси в неармированных массивных конструкциях. Его используют как комплектующее изделие на виброукладчиках, оборудованных генератором с частотой тока 200 Гц и напряжением 220 В, входящих в комплект машин для скоростного строительства автодорог.

Таблица 9 – Технические характеристики отечественных подвесных вибраторов

| Наименование параметра | Значение параметра | |
|-----------------------------|-------------------------|---------|
| | ИВ-95А | ИВ-114А |
| Вибронаконечник: | | |
| диаметр, мм | 75 | 133 |
| длина, мм | 440 | 1080 |
| частота колебаний, Гц | 200 | 141 |
| вынуждающая сила, кН | 7,9 | 21,2 |
| Электродвигатель: | | |
| тип | асинхронный, трехфазный | |
| мощность, кВт | 1,1 | 2,1 |
| напряжение, В | 220 | 380 |
| частота тока, Гц | 200 | 50 |
| Масса вибратора, кг: | 12 | 105 |

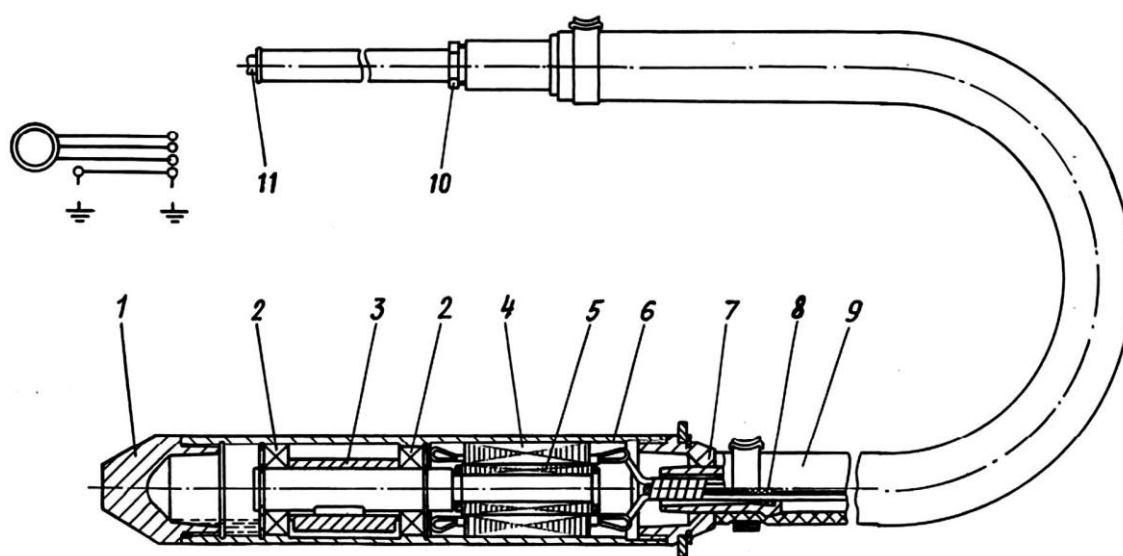


Рисунок 20 – Глубинный подвесной вибратор ИВ-95А фирмы «Красный маяк»:

- 1 – дно; 2 – подшипник; 3 – дебаланс; 4 – статор; 5 – ротор; 6 – корпус;
7 – головка; 8 – втулка; 9 – защитный рукав; 10 – гайка нажимная; 11 – кабель

Вибратор ИВ-114А представляет собой герметичный корпус, в верхней части которого встроен электродвигатель, а в нижней части (вибронаконечнике) – планетарный вибромеханизм с внутренней обкаткой (рисунок 21). Этот вибратор предназначен для уплотнения бетонной смеси с осадкой конуса 2–3 см, слоями до 1,25 м в неармированных и малоармированных массивных конструкциях гидротехнических сооружений. Его применяют в качестве навесного оборудования на малогабаритном электротранспорте, кране, кран-балке и др.

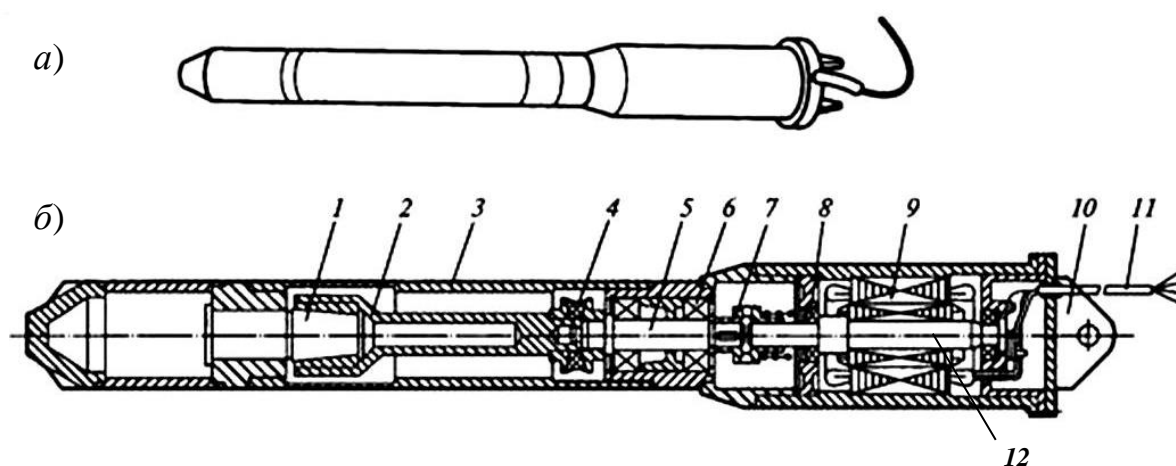


Рисунок 21 – Глубинный подвесной вибратор ИВ-114А

фирмы «Красный маяк»: а – общий вид; б – схема вибратора:

- 1 – сердечник; 2 – бегунок; 3 – корпус; 4 – упругая муфта; 5 – шпindelь;
 6 – подшипник шпинделя; 7 – кулачковая муфта; 8 – подшипник двигателя;
 9 – ротор; 10 – подвеска; 11 – кабель; 12 – статор

В зарубежной практике гидротехнического и дорожного строительства широко применяют глубинные подвесные вибраторы с электро- и гидроприводом. Фирма Gomaco (США) выпускает бетоноукладчик для дорожного строительства типа GP-2000 который оснащен пакетом глубинных подвесных вибраторов с гидроприводом. Фирмы Netter (Германия), Hayashi (Япония), Vibro-Verken (Швеция) также выпускают подвесные электрические и гидравлические вибраторы.

Конструктивно вибратор серии HJB 134N фирмы Hayasht представляет собой вибратор со встроенным электродвигателем и дебалансным вибромеханизмом; вибратор AD15/Notz GF 125Y фирмы Vibro-Verken имеет вынесенный электродвигатель; вибраторы HJB 150H фирмы Hayasht и NHR 150 фирмы Netter имеют дебалансный вибромеханизм, связанный со встроенным в корпус гидромотором. Питание гидромотора осуществляется от гидросистемы машины-носителя.

Для повышения производительности труда при бетонировании массивных конструкций применяют пакеты из нескольких вибраторов, подвешиваемых на крюке грузоподъемного крана. Такие пакеты из 3–6 вибраторов производят фирмы Vibro-Verken, Hayashi, Netter.

Подвесные вибраторы следует хранить в сухом помещении. Условия хранения – 2, условия транспортирования – 5 по ГОСТ 15150-69.

Прикрепляемые тисковые электромеханические вибраторы широко применяют для уплотнения бетонной смеси в опалубке даже в труднодоступных для глубинного вибратора мест, например, под окнами и нишами и в колоннах. Электромеханический вибратор с круговыми колебаниями представляет собой трёхфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, оснащенный рукояткой и тисками, с помощью которых его временно прикрепляют к металлической опалубке с внешней стороны на период укладки и уплотнения бетонной смеси (рисунок 22).

Конструкция вибратора позволяет регулировать направления колебаний путем изменения угла между подвижным и неподвижным дебалансами, находящимися под крышками на обоих концах ротора.

Основные характеристики вибраторов для опалубки указаны в таблице 10.

Места установки вибраторов и их количество должны быть указаны в технологической карте или проекте производства работ.

Вибраторы ИВ-448, ИВ-448-01, ИВ-448-02 и ИВ-448-04 необходимо подключать к сети через преобразователь частоты тока.

Таблица 10 – Технические характеристики электромеханических при-
крепляемых вибраторов

| Наименование параметра | Значение параметра | | | | |
|---------------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | ИВ-448 | ИВ-448- 01 | ИВ-448- 02 | ИВ-448- 03 | ИВ- 448-04 |
| Мощность, кВт | 0,79 | 0,79 | 0,35 | 0,5 | 1,3 |
| Частота колебаний, Гц | 100 | 100 | 100 | 50 | 100 |
| Вынуждающая сила, кН | 3,73–7,5 | 3,73–7,5 | 2,0 max | 2,5–5 | 0–7,5 |
| Напряжение, В | 220 | 42 | 220/380 | 220 | 42 |
| Частота тока, Гц | 200 | 200 | 100 | 50 | 200 |
| Ширина вибратора L , мм | 261 | 261 | 200 | 261 | 261 |
| Высота вибратора H , мм | 332 | 332 | 275 | 332 | 332 |
| Глубина тисков h_1 , мм | 90 | 90 | 90 | 90 | 72 |
| Масса вибратора, кг | 24,8 | 24,8 | 12,5 | 25,3 | 25,5 |

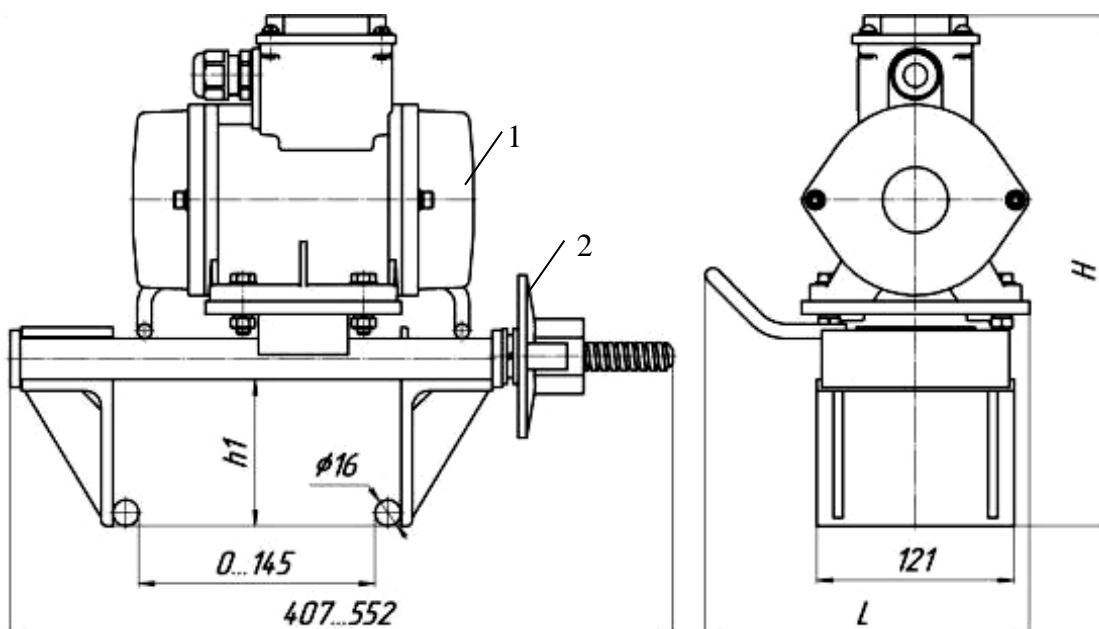


Рисунок 22 – Прикрепляемый тисковый вибратор серии ИВ-448
фирмы «Красный маяк»: 1 – вибратор; 2 – рукоятка; 3 – тиски

Прикрепляемые тисковые вибраторы следует хранить в сухом помещении. Условия хранения – 2, условия транспортирования – 5 по ГОСТ 15150-69.

Зарубежные аналоги вибраторов, прикрепляемых к опалубке, состоят из двух отделяющихся друг от друга функциональных элементов: непосредственно самого вибратора и тисков. Вибраторы некоторых зарубежных фирм (Bosch, Wacker и др.) допускают возможность регулирования частоты колебаний.

Крепление вибраторов к опалубке может осуществляться либо при помощи крепежных болтов, установленных в отверстиях лап корпуса, либо при помощи быстродействующего крепления, которое состоит из основания (плиты) и откидного болта. При этом корпус вибратора имеет специальный прилив с пазом для установки болта. Такие крепления, наряду с традиционными схемами крепления, применяют, например, фирмы Netter, Wacker, РТС. Как правило, это вибраторы с высокой частотой колебаний (100 Гц и выше).

Принцип действия и конструктивные схемы вибраторов зарубежных фирм аналогичны отечественным.

Поверхностные вибраторы применяют при устройстве бетонной подготовки и бетонных полов.

Для поверхностного вибрирования применяют виброплощадки и виброрейки. Они являются средствами малой механизации и перемещаются по уплотняемым слоям вручную.

В качестве вибровозбудителей для виброплощадок и виброреек обычно применяют вибраторы общего назначения.

Отечественной промышленностью серийно выпускается виброплощадка серии ЭВ-262 (рисунок 23). Габариты площадки 530х920 мм. Виброплощадка представляет собой корытообразную плиту (1), являющуюся ее рабочим органом, и установленным на ней вибратором (2). К плите прикреплены две скобы (3), служащие для транспортировки виброплощадки к месту работы в неработающем состоянии и для крепления к ним тяговых устройств.

В отличие от виброплощадок, виброрейки используют для уплотнения с одновременным выравниванием бетонной смеси, как правило, при устройстве бетонных полов.

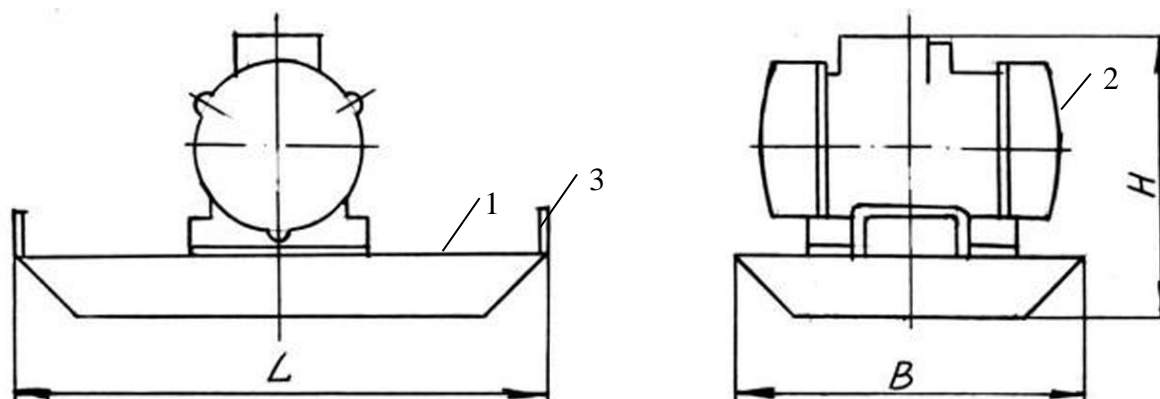


Рисунок 23 – Виброплощадка серии ЭВ-262 фирмы «Красный маяк»

1 – плита; 2 – вибратор; 3 – скоба

Виброрейки выпускают фиксированной длины (серии ЭВ-270, ЭВ-270А) и изменяемой длины, с выдвижными элементами (ЭВ-403). Последние называют телескопическими.

Виброрейки состоят из балки длиной от 1700 до 4200 мм, смонтированной с вибратором. У виброрейки серии ЭВ-270 (рисунок 24) балка (1) представляет собой конструкцию из двух квадратных труб, связанных элементом жесткости (стальными пластинами). У виброрейки ЭВ-270А (рисунок 25) в качестве балки (1) используется швеллер. У телескопической виброрейки ЭВ-403 в качестве балки используется алюминиевый бокс.

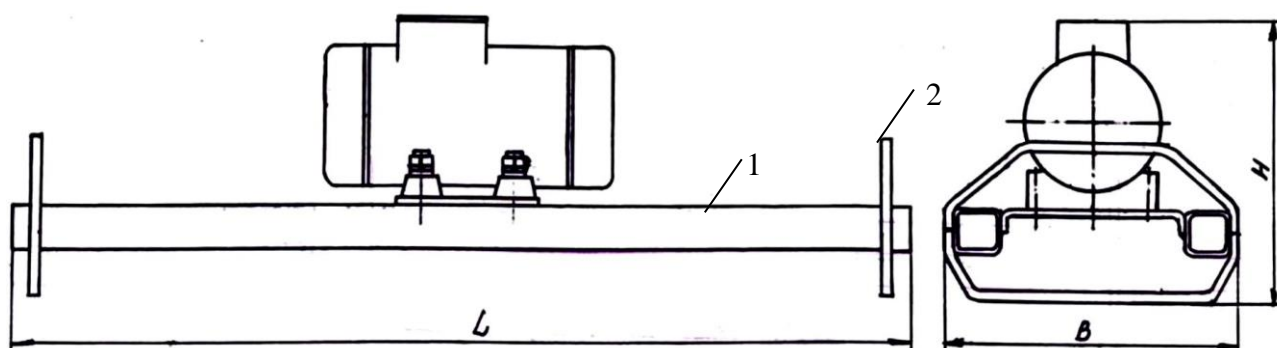
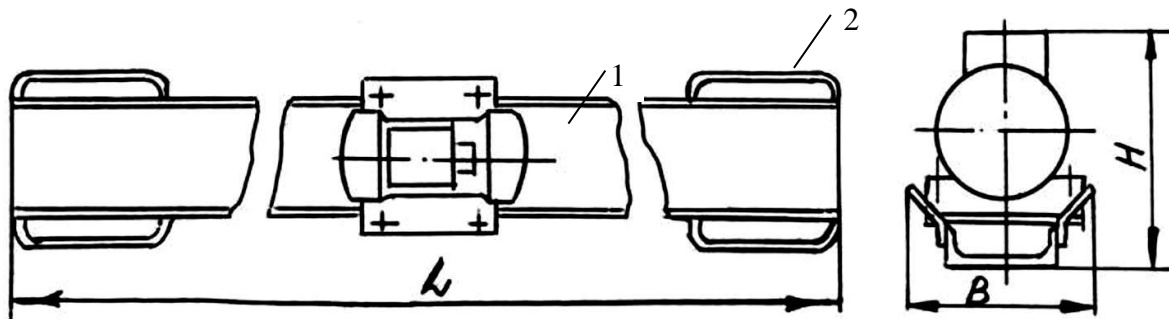


Рисунок 24 – Виброрейка серии ЭВ-270 фирмы «Красный маяк»

1 – балка; 2 – скоба



25 – Виброрейка серии ЭВ-270А фирмы «Красный маяк»

1 – балка; 2 – скоба

У всех виброреек к балке с двух сторон жестко прикреплены скобы (2), предназначенные для переноса виброрейки и крепления к ней тяговых устройств.

Основные характеристики поверхностных вибраторов указаны в таблице 11.

Подключение поверхностного вибратора к электрической сети осуществляют с помощью гибкого многожильного кабеля, сечением каждой жилы не менее $1,5 \text{ мм}^2$.

При включении вибратора вращающиеся дебалансы вызывают круговые колебания рабочего органа, воздействующие на поверхность бетонной смеси, уплотняя ее.

Для обеспечения заданной ровности поверхности и уклона бетонируемой конструкции противоположные концы балки устанавливают на маячные рейки, выполняющие роль направляющих, по которым перемещают виброрейки.

Во время уплотнения бетонной смеси питающий электрокабель располагают таким образом, чтобы при работе отсутствовало соприкосновение его с вибрирующими частями виброоборудования, при этом не следует допускать натяжения и скручивания кабеля.

За рубежом выпускают большое количество типов поверхностных вибраторов, которые предназначены для различных условий производства бетонных работ.

Таблица 11 – Технические характеристики поверхностных вибраторов

| Наименование параметра | Значение параметра | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | ЭВ-262 | ЭВ-270 | ЭВ-270А | ЭВ-403 |
| Мощность, кВт | 0,9 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Частота колебаний, Гц | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Вынуждающая сила, кН | 5,6–11,3 | 2,5–5 | 2,5–5 | 2,5–5 |
| Напряжение, В | 42 или 220 через 30У | 42 или 220 через 30У | 42 или 220 через 30У | 42 или 220 через 30У |
| Частота тока, Гц | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Ширина вибратора B , мм | 530 | 320 | 210 | 495 |
| Высота вибратора H , мм | 320 | 300 | 260 | 310 |
| Длина L , мм | 920 | 1700; 3200; 4200 | 1700; 3200; 4200 | 2050– 3000 |
| Масса вибратора, кг | 41,5 | 35,5; 53,2; 65,6 | 32; 48; 58 | 47 |

Например, немецкая фирма «Ravi» выпускает вибраторы, установленные на плоские передвижные платформы, размер которых 500x800, 600x700 мм и масса от 80 до 153 кг, с приводом вибровозбудителя от двигателя внутреннего сгорания.

В некоторых конструкциях отечественных и зарубежных виброреек имеются два параллельных вибрирующих бруса. Первый брус предназначен для уплотнения смеси, второй – для заглаживания поверхности. Прилегающие к бетону поверхности вибрирующих брусьев могут быть плоскими, выпуклыми, выгнутыми, т.е. соответствовать профилю бетонируемой полосы.

Передняя кромка вибробруса наклонена под углом 3–5% к горизонту для предотвращения разрывов в бетоне уплотняемого слоя от сдвига смеси фронтальной плоскостью.

В некоторых конструкциях виброреек опорная площадка кругового дебалансного вибратора наклонена к горизонту под углом. Этот наклон обеспечивает рейке самоходность, облегчая усилия, необходимые на ее перемещения.

Виброрейки длиной от 6 до 15 м для перемещения их по направляющим оснащены роликовыми тележками. Виброрейки фирмы «Skil», выпускаемые длиной 4; 7,9; 9,1 м, отличаются тем, что для перемещения ее в исходное положение для повторного прохода вибрирующий брус поднимается над уложенным бетоном. Поверхность бруса, прилегающая к бетону, окантована алюминиевым П-образным профилем. Роликовые тележки и рукоятки виброрейки изолированы от вибрации за счет подвески вибробруса на пружинах. Частота вибрации при использовании вибратора с приводом от двигателя внутреннего сгорания мощностью 2,2 кВт регулируется в пределах 60–133,3 Гц, при установке электровибратора – 75–96,6 Гц.

Фирма «Stou» (США) выпускает виброрейки со стальными брусками длиной 7,3 и 15,2 м. Уровень вибробруса относительно роликовой тележки регулируется. Для перемещения виброрейки на роликовых тележках установлены две ручные лебедки.

Поверхностные вибраторы следует хранить в сухом помещении. Условия хранения – 2, условия транспортирования – 5 по ГОСТ 15150-69.

2.1.4. Изменение физико-механических свойств вибрируемой бетонной смеси

Бетонной смесью называют готовую к применению перемешанную однородную смесь вяжущего, заполнителей и воды с добавлением или без добавления химических и минеральных добавок, которая после уплотнения, схватывания и твердения превращается в бетон [4].

После уплотнения на месте укладки бетонная смесь называется свежеложенным бетоном. Обычными технологическими характеристиками бетонной смеси служат ее состав, подвижность и жесткость.

При бетонировании массивных сооружений, когда много времени затрачивается на транспортировку и укладку бетонной смеси, важной характеристикой становится изменение ее подвижности и жесткости во времени.

Для понимания процесса взаимодействия вибратора и уплотняемой бетонной смеси дополнительно используются такие характеристики, как плотность, модуль объемной упругости, скорость распространения упругих колебаний, акустическое сопротивление, предельное сопротивление сдвигу, вязкость, коэффициент затухания упругих волн и некоторые другие.

Основные свойства бетонной смеси зависят в первую очередь от свойств примененных материалов и водоцементного отношения. Для вибрируемой бетонной смеси существенное значение имеет избыток растворной составляющей по отношению к объему пустот в крупном заполнителе.

Подвижность бетонной смеси характеризуется осадкой конуса (ОК), выраженной в сантиметрах, жесткость смеси определяется временем в секундах, необходимым для растекания и превращения под действием вибрирования в цилиндр конуса из бетонной смеси. Осадка конуса и жесткость бетонной смеси регламентируются ГОСТ 7473-2010. Жесткие бетонные смеси применяются в основном для изготовления сборных железобетонных конструкций и не могут быть уплотнены глубинными вибраторами. При погружении вибратора в жесткую бетонную смесь быстро теряется контакт его со смесью и уплотнение смеси не происходит. Такие смеси уплотняются на вибрационных столах и обычно с пригрузом. Способ уплотнения жестких бетонных смесей при устройстве монолитных конструкций в условиях строительной площадки рассмотрен в настоящей главе.

При глубинном уплотнении вибрированием, как правило, применяют бетонные смеси с осадкой конуса не меньше 2–3 см.

При снижении подвижности бетонной смеси менее 1 см применение глубинных вибраторов становится малоэффективным.

Обработка вибрированием бетонных смесей с осадкой конуса 8–12 см обычными глубинными вибраторами не рекомендуется, так как может привести к нарушению ее однородности. Смеси имеющие большую подвижность ($OK \geq 14-16$ см) хорошо самоуплотняются без вибрирования.

Подвижность бетонной смеси оказывает большое влияние на эффективность работы глубинных вибраторов. При ее повышении увеличивается радиус действия вибраторов, сокращается время вибрирования и возрастает производительность.

Скорость распространения упругих волн – одна из существенных характеристик бетонной смеси, от которой зависит выбор размеров рабочей части глубинного вибратора.

При глубинном вибрировании уплотнение бетонной смеси происходит в основном за счет продольных колебаний среды, продольных упругих волн. Скорость распространения таких волн выражается формулой:

$$u = \frac{E}{\rho}, \quad (1)$$

где: u – скорость распространения волн;

E – модуль объемной упругости;

ρ – плотность бетонной смеси, которая принимается для тяжелых бетонных смесей в среднем $2,4 \text{ т/м}^3$.

Скорость распространения колебаний в бетонной смеси (на основании опытных данных) при частоте 50–100 Гц не превышает 100 м/с, а длина волны составляет 60–80 см. Динамический модуль упругости бетонной смеси в значительной степени зависит от содержания воздуха в смеси (ее пористости) и составляет ориентировочно при значениях пористости 1–5 %, соответственно 10–2,3 МПа.

Акустическое сопротивление среды (бетонной смеси) характеризует сопротивление среды вибрационным колебаниям.

Удельное акустическое сопротивление Z определяется по одному из выражений:

$$Z = \sqrt{E \cdot \rho} = \frac{E}{u} = \rho \cdot u . \quad (2)$$

Удельное акустическое сопротивление, как и скорость распространения колебаний, зависит только от плотности среды и от модуля ее объемной упругости и составляет при скорости распространения волн 20–62 м/с ($E=1–10$ МПа) соответственно 500–1500 Па·с/см.

Численные значения приведенных характеристик бетонной смеси зависят от ее реологических свойств – упругости, вязкости и пластичности.

Вязкость характеризуется сопротивлением, которое смесь оказывает деформации сдвига. При сдвиге тело перекашивается, но скольжения одного слоя по другому не происходят и сплошность тела не нарушается. Коэффициент вязкости n , определяющий зависимость между градиентом скорости и касательным напряжением вычисляется по формуле:

$$J = \frac{F}{S} - n \frac{dV}{dy}, \quad (3)$$

где: J – касательные напряжения;

F – приложенная сила; S – площадь сдвига;

dV/dy – градиент скорости сдвига.

Наличие цементного теста придает бетонной смеси свойство, называемое структурной вязкостью, которая характеризуется следующими особенностями:

– сдвиговое течение смеси начинается только тогда, когда сдвигающее напряжение превышает предельные напряжения сдвига;

– сопротивление при сдвиговом течении пропорционально градиенту скорости сдвига, но коэффициент вязкости зависит от степени разрушения структуры действующим возмущением.

Структурная вязкость отражает пластические свойства смеси. Предельное напряжение сдвига обусловлено контактом между частицами заполнителя. Оно усиливается связями в загустевающем цементном тесте. Частицы цемента

сцепляются друг с другом, образуя рыхлую каркасную структуру, ячейки которой заполнены водой. Затем начинаются процессы кристаллизации, которые укрепляют эту структуру.

Предельное напряжение сдвига имеет упругую составляющую и составляющую типа сухого трения между частицами смеси, подчиняющегося закону Кулона. Основой упругой составляющей сопротивления является сцепление.

После преодоления предельного напряжения сдвига подвижность бетонной смеси быстро увеличивается, а вязкость постепенно уменьшается. В этом явлении можно отметить два процесса:

- действительное разжижение смеси, происходящее вследствие увеличения количества свободной, физически не связанной воды;
- псевдоразжижение, происходящее вследствие уменьшения сухого трения между частицами смеси под действием вибрации.

Первый процесс проявляется как следствие тиксотропного превращения геля в золь. Вибрация разрушает коагуляционную структуру цементного теста, и оно приобретает повышенную подвижность. После прекращения вибрирования коагуляционная структура восстанавливается.

Второй процесс – псевдоразжижение смеси, связан с заменой сухого трения вязким. Если на частицы смеси, между которыми существует сухое трение, действует вибрация, причем импульсы этой вибрации достаточны для преодоления сил сухого трения, то они поглощаются вибрацией и возникает вязкое сопротивление среды, величина которого зависит от величины сухого трения и параметров колебаний. Сухое трение восстанавливается сразу же после прекращения вибрации.

Таким образом, в начале вибрации в бетонной смеси действуют силы сухого трения и вязкостные силы, которые направлены против вынуждающей силы вибратора. Силы сцепления (упругие силы) существенного значения при вибрационном сдвиге бетонной смеси не имеют.

После преодоления предельного напряжения сдвига сухое трение снижается, сопротивление в смеси становится пропорциональным градиенту скоро-

сти сдвига и может быть выражено переменным коэффициентом вязкости. По мере разрушения структуры смеси вибрацией происходит уменьшение вязкости от максимальной ее величины до минимальной в данных условиях. На последней стадии уплотнения бетонная смесь ведет себя при сдвиге как тяжелая ньютоновская жидкость с постоянным коэффициентом вязкости.

По экспериментальным данным в невибрируемой бетонной смеси предельное напряжение сдвига зависит от подвижности смеси и меняется в пределах от 100 до 1500 Па.

Колебания бетонной смеси происходят под действием вынуждающей силы вибратора P_0 :

$$P_0 = m_0 \cdot r_0 \cdot W^2, \quad (4)$$

где: m_0 – масса дебаланса;

r_0 – расстояние от оси вращения до центра масс дебаланса;

W – круговая частота колебаний.

Амплитуда смещения при колебаниях бетонной смеси уменьшается по мере удаления от источника колебаний, т.е. происходит их затухание (рисунок 26).

Рабочая часть цилиндрического глубинного вибратора движется в бетонной смеси поступательно по окружности с радиусом, равным $(R+A_0)$, где R – радиус рабочей части вибратора, A_0 – амплитуда вибрационного смещения вибратора. При этом излучаются волны сложной формы. Для упрощения расчетов вибраторов принято, что цилиндрическая рабочая часть вибратора излучает цилиндрические волны, плоского виброуплотнителя – плоские волны.

Способность к поглощению энергии колебаний бетонной смесью обусловлено такими ее свойствами, как вязкость, дисперсность, теплопроводность.

Для вязкой среды затухание амплитуды колебаний вследствие поглощения энергии подчиняется экспоненциальному закону:

$$A = A_0 \cdot e^{-ax}, \quad (5)$$

где: A – амплитуда смещения среды на расстоянии радиуса r_2 от оси вибратора;

A_0 – амплитуда смещения среды на расстоянии радиуса r_2 от оси вибратора при $r_2 = r_1$ вблизи поверхности рабочего органа вибратора;

r_1 – радиус рабочего органа вибратора;

a – коэффициент поглощения колебаний;

$x = r_2 - r_1$.

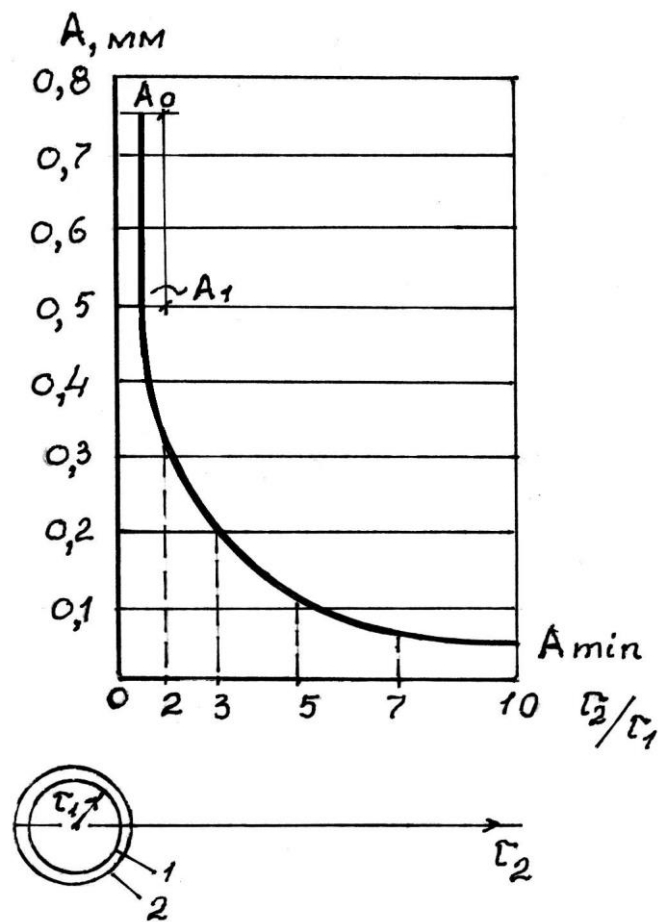


Рисунок 26 – Затухание колебаний вибратора в бетонной смеси:
1 – контур сечения рабочего органа вибратора; 2 – бетонная смесь

Для цилиндрической волны затухание амплитуды смещения определяется по формуле:

$$A = A_0 \sqrt{\frac{r_2}{r_1}} e^{0,5a(r_2 - r_1)} ; \quad (6)$$

для плоской волны:

$$A = A_0 e^{-0,5a(r_2 - r_1)}. \quad (7)$$

Полученные экспериментальным путем значения коэффициента поглощения энергии колебаний для цилиндрических волн находятся в пределах от 0,03 до 0,2 см⁻¹. Причина такого большого разброса полученных значений коэффициента поглощения состоит в различии свойств бетонных смесей разного состава, влияния частоты колебаний.

По имеющимся литературным данным, можно отметить следующее:

- в бетонной смеси на пуццолановом портландцементе поглощение колебаний происходит интенсивнее, чем в бетонной смеси на портландцементе;
- коэффициент поглощения в бетонной смеси на щебне выше, чем в аналогичной бетонной смеси на гравии;
- в жесткой бетонной смеси энергия колебаний поглощается более интенсивно, чем в подвижной;
- вертикальные колебания затухают быстрее, чем горизонтальные;
- продольные волны затухают значительно медленнее, чем поперечные.

Коэффициент поглощения изменяется во время вибрирования. По мере уплотнения бетонной смеси уменьшается затрата энергии на пластические деформации, что уменьшает коэффициент поглощения.

Для предварительных расчетов цилиндрических вибраторов значения коэффициентов поглощения приведены в таблице 12.

Трение рабочей части вибратора о бетонную смесь при его работе вызывает движение вибратора в направлении обратном вращению дебаланса. Возникающий момент силы воспринимается рамой пакета или руками бетонщика при погружении вибратора в бетонную смесь. В результате вибрации подвижность смеси возрастает, а трение уменьшается, и бетонщик почти не ощущает момента от нее.

Таблица 12 – Коэффициенты поглощения энергии колебаний в бетонной смеси при вибрировании

| Частота колебаний, Гц | Бетон на портландцементе с осадкой конуса | | Бетон на пуццолановом портландцементе с осадкой конуса 4–6 см. |
|-----------------------|-------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------|
| | 2–4 см. | 4–6 см. | |
| 50 | 0,1 | 0,7 | 0,19 |
| 75 | 0,09 | 0,06 | 0,16 |
| 100 | 0,08 | 0,05 | 0,12 |

При работе в бетонной смеси вибратор испытывает сопротивление вибрируемой среды, которое складывается из сопротивления внутреннего трения, сопротивления формы вибратора, инерционного сопротивления и сопротивления связанного с упругими свойствами среды.

Сопротивление трению характеризуется силами, которые надо приложить для преодоления сопротивления сдвигу. Величина этих сил зависит от вязкости среды. Вязкое сопротивление направлено против скорости движения рабочей части вибратора и непосредственно влияет на величину потребляемой вибратором мощности.

Сопротивление формы зависит от формы поперечного сечения, обтекаемого смесью тела (вибратора). Сопротивление формы направлено против скорости. Для вибраторов с цилиндрическим корпусом это свойство имеет второстепенное значение по сравнению с сопротивлением трения; для плоскостных же, имеющих большую площадь рабочей части, является одним из основных свойств.

Инерционное сопротивление возникает вследствие сообщения ускорения частицами бетонной смеси, расположенным в зоне действия вибратора. Инерционное сопротивление смеси уменьшает амплитуду смещения, оно преодолевается за счет движения массы дебалансов вибратора.

Инерционное сопротивление отличается от сопротивления формы тем, что оно связано с ускорением частиц смеси, а сопротивление формы со скоростью вибрационных колебаний рабочей части вибратора. Для глубинных вибраторов инерционное сопротивление значительно больше, чем сопротивление формы.

Удельный коэффициент сопротивления бетонной смеси вибратору $B_{уд}$, определенный опытным путем, находится в пределах от $23 \cdot 10^{-3}$ до $50 \cdot 10^{-3}$ Н·с/см³.

Эпюра колебаний свободного вибратора определяется двумя параметрами: амплитудой смещения центра тяжести вибратора и расстоянием от этого центра тяжести на оси вибратора, где амплитуда смещения равна нулю (нулевая точка).

Амплитуда смещения центра тяжести вибратора A_0 в воздухе зависит от момента дебаланса и массы вибратора и равна:

$$A_0 = \frac{m_0 \cdot \varepsilon}{m_{\varepsilon} + m_0}, \quad (8)$$

где: m_0 – масса дебаланса;

ε – эксцентриситет дебаланса;

m_{ε} – масса корпуса вибратора.

При погружении вибратора в бетонную смесь возникает инерционное сопротивление смеси в зоне действия вибратора. Инерционную массу смеси $m_{дон}$, препятствующую работе вибратора, называют дополнительной или присоединенной массой. В этом случае амплитуда смещения равна:

$$A = \frac{m_0 \cdot \varepsilon}{m_{\varepsilon} + m_0 + m_{дон}}, \quad (9)$$

где: A – амплитуда смещения при наличии инерционного сопротивления.

Положение нулевой точки определяется по формуле:

$$d = \frac{I_c}{L \cdot m}, \quad (10)$$

где: d – расстояние от центра тяжести вибратора до нулевой точки;

I_c – момент инерции массы вибратора относительно центра тяжести;

L – расстояние от центра тяжести до точки приложения возмущающей силы;

m – масса вибратора.

Величина L считается положительной, если точка B расположена ниже точки C , величина d положительна, если точка O расположена выше точки C (рисунок 27).

Если массу вибратора принять равномерно распределенной по оси, то момент инерции вибратора относительно центра тяжести можно ориентировочно определить по формуле:

$$I_c = \frac{m \cdot L_B^2}{12}, \quad (11)$$

где L_B – длина вибратора.

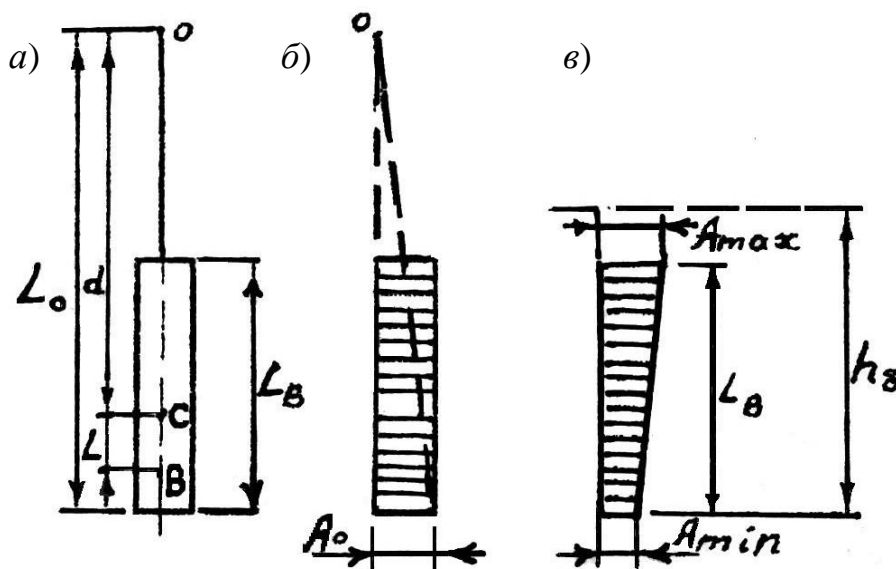


Рисунок 27 – Эпюры колебаний вибратора: a – схема вибратора;

b – теоретическая эпюра колебаний вибратора в воздухе;

c – эпюра колебаний вибратора в бетонной смеси;

O – нулевая точка; C – центр тяжести;

B – точка приложения возмущающей силы

В большинстве случаев нулевая точка у глубинных вибраторов по условиям амортизации колебаний располагается выше верха рабочей части вибратора.

Опыты с обычными цилиндрическими глубинными вибраторами показывают, что в большинстве случаев при полном погружении рабочей части в бетонную смесь отношение $A_0/A = 1,3-1,4$, а дополнительная масса (присоединенная масса бетонной смеси) составляет $0,3-0,4$ массы рабочего органа вибратора. Для плоскостных виброуплотнителей это отношение возрастает до 2, соответственно, $m_{доп}/m$ – до 1.

После погружения вибратора в бетонную смесь эпюра колебаний принимает форму перевернутой трапеции (рисунок 27 в). Это указывает на то, что инерционное сопротивление в нижней части вибратора несколько больше, чем в верхней.

В исследовании виброуплотнения введено понятие о минимальной (предельной) амплитуды A_{min} , при которой еще происходит тиксотропное разжижение бетонной смеси и ее уплотнение. Установлено, что с ростом частоты колебаний, A_{min} уменьшается. При этом возрастает интенсивность затухания колебаний в смеси и снижается радиус действия вибратора (рисунок 28).

Для повышения эффективности уплотнения бетонной смеси предложено использовать многочастотные уплотнители. Однако в связи со значительным усложнением конструкции многочастотных излучателей, в практике строительства применяют только двухчастотные вибраторы малой мощности.

Другим путем повышения эффективности работы глубинных вибраторов является объединение их в пакеты по 2–6 шт.

При одновременной работе двух или нескольких однотипных глубинных вибраторов происходит сложение колебаний, возбуждаемых этими вибраторами в бетонной смеси.

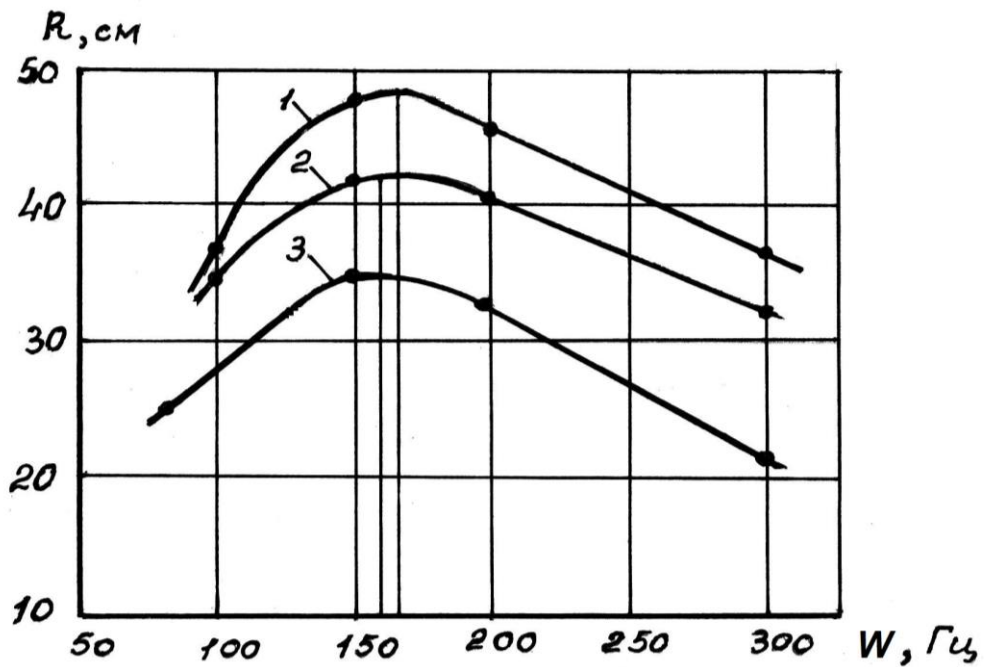


Рисунок 28 – Влияние частоты колебаний на радиус действия внутренних вибраторов:

1 – осадка конуса смеси 4 см; 2 – то же 2 см; 3 – жесткость смеси 30 с

В связи с тем, что частота колебаний отдельных вибраторов точно не совпадает возникает явление биения в отдельных точках уплотняемой смеси. Биение характеризуется тем, что амплитуда колебаний в данной точке периодически изменяется от минимального значения до максимального (рисунок 29).

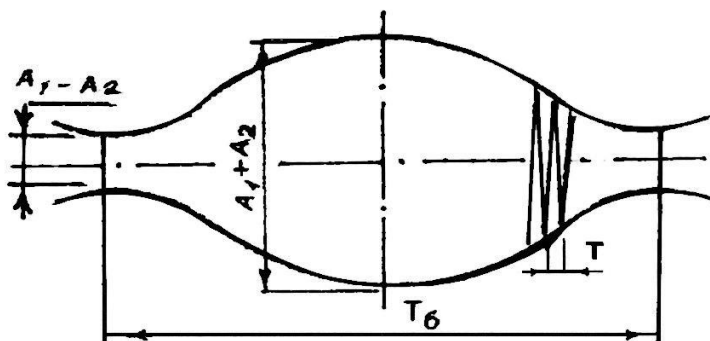


Рисунок 29 – Диаграмма биения как результат сложения воздействия двух вибраторов

Если от одного источника исходят колебания с амплитудой A_1 , а от другого – с амплитудой A_2 , причем $A_1 > A_2$, то в данной точке амплитуда колебаний будет изменяться от $A_{max} = A_1 + A_2$ до $A_{min} = A_1 - A_2$.

Продолжительность изменения амплитуды от минимального значения до максимального и опять до минимального называется периодом биения T_{δ} .

Период биения зависит от разности частот источника колебаний и определяется по формуле:

$$T_{\delta} = \frac{60}{W_1 - W_2}, \quad (12)$$

где: W_1 и W_2 – частоты колебаний двух вибраторов, при $W_1 > W_2$.

Период биения обычно значительно больше периода колебаний вибратора. Например, если вибраторы колеблются с частотой 2850 и 2800 мин⁻¹, то их период колебаний около двух сотых секунды, а период биения 1,2 с. Таким образом, в одном периоде биения укладывается 60 колебаний вибратора. За счет эффекта взаимодействия одновременно работающих вибраторов (сложение амплитуд) можно увеличить расстояние между вибраторами или уменьшить продолжительность вибрирования.

Если зоны действия вибраторов имеют общую точку, находящуюся на одинаковом расстоянии от каждого вибратора, то амплитуды вибрационного смещения бетонной смеси в этой точке вследствие биения будут периодически достигать двойной величины, что обеспечит более равномерное уплотнение смеси по сравнению с одиночным вибратором.

Исследованиями установлено, что поверхностное уплотнение практически для всех составов бетонной смеси наиболее эффективно при определенном соотношении между давлением на бетон виброуплотнителя Q и возмущающей силой P_0 , которое должно быть в пределах 0,4–0,6. При значении $Q/P_0 < 0,3$ колебания носят неустановившийся характер, а с увеличением $Q/P_0 > 0,6$ амплитуда колебаний смеси начинает интенсивно затухать и при $Q/P_0 = 1$ (для жестких смесей) колебания практически прекращаются.

Оптимальная величина удельного давления виброуплотнителя на бетонную смесь зависит от ее удобоукладываемости и принимается в среднем около 4 кПа.

Важнейшим требованием к поверхностным виброуплотнителям является равномерность распределения колебаний по длине, которая зависит от его жесткости. При недостаточной жесткости уплотнителя амплитуда колебаний в его центре может существенно отличаться от краевых, что приведет к различной степени уплотнения смеси, а в результате отрицательно повлияет на однородность прочности бетона. Кроме этого, возможно снижение качества уплотнения из-за возникновения негармонических колебаний виброуплотнителя, которые являются причиной биений уплотнителя, разрушающих и разуплотняющих бетон.

Негармонические колебания могут быть причиной образования по длине виброуплотнителя нулевых точек. Это зоны, где из-за интерференции волн отсутствуют колебания. С целью предотвращения возникновения нулевых точек, длину полуволны возбуждаемых колебаний виброуплотнителя принимают большей, чем расстояние от его центра до края. С этой же целью на тяжелых вибробрусках с несколькими вибраторами шаг их расстановки также принимают меньше длины полуволны.

Оптимальным диапазоном частоты колебаний для поверхностных виброуплотнителей, рассчитанных на уплотнение слоев высотой 10–20 см, считают 25–41,7 Гц. Рекомендуемая амплитуда виброуплотнителей находится в пределах 0,35–0,5 мм. При больших амплитудах наблюдаются подсос воздуха в уплотняемую смесь и снижение качества затвердевшего бетона.

2.1.5. Проектирование технологии вибрационного уплотнения бетонной смеси

Основными технологическими параметрами глубинного вибратора, от которых зависит его производительность, являются радиус действия, толщина

укладываемых слоев бетонной смеси в процессе бетонирования конструкций, а также продолжительность вибрирования смеси. Для глубинного вибратора с цилиндрической рабочей частью за радиус действия принимают расстояние от его центра до концентрической окружности, являющейся границей между уплотняющейся и неуплотняющейся зоной.

Радиус действия вибратора зависит от вынуждающей силы и частоты колебаний, от подвижности и состава смеси, степени армирования бетонируемой конструкции, высоты уплотняемого слоя и др. Он соответствует расстоянию, на котором ускорение колебаний частиц смеси составляет не менее 3–5 g.

Если радиус действия не указан в техническом паспорте вибратора, то его можно принять равным:

$$R_{\text{в}} = (4 - 5) d_{\text{в}}, \quad (13)$$

где: $d_{\text{в}}$ – диаметр рабочего органа глубинного вибратора.

Для конкретных условий рабочий радиус действия вибратора уточняется визуально. Уплотняемая зона отличается энергичным оседанием смеси, выделением пузырьков воздуха, появлением на поверхности уплотняемого слоя и около опалубки растворной части смеси.

Глубинные вибраторы погружаются в уплотняемую смесь под действием силы тяжести. После погружения вибратора вокруг его корпуса образуется кольцевой слой растворной составляющей смеси, через который вибрационные колебания передаются уплотняемой смеси. Поэтому нельзя вибрировать бетонную смесь через арматуру, так как сцепление ее с раствором существенно меньше чем с бетоном.

Увеличить радиус действия вибратора с цилиндрической рабочей частью можно путем установки на рабочую часть вертикальных ребер. Повышение радиуса действия вибраторов с ребристыми наконечниками объясняется большей долей энергии, передаваемой бетонной смеси. Однако при этом увеличивается диаметр вибронконечника, что затрудняет применение его в часто армированных конструкциях.

Согласно СП 70.13330.2012 [15], толщина укладываемых слоев бетонной смеси h_b при ее уплотнении:

- 1) тяжелыми подвесными вертикально расположенными вибраторами – на 5–10 см меньше длины рабочего органа вибратора;
- 2) подвесными вибраторами, расположенными под углом к вертикали (до 30°) – не более вертикальной проекции длины рабочего органа вибратора;
- 3) ручными глубинными вибраторами – не более 1,25 длины рабочего органа вибратора.

Перед началом уплотнения каждого укладываемого слоя бетонную смесь следует равномерно распределить по всей площади бетонируемой конструкции. Высота отдельных выступов над общим уровнем поверхности бетонной смеси перед уплотнением не должна превышать 10 см. Запрещается использовать вибраторы для перераспределения и разравнивания укладываемого слоя бетонной смеси. Уплотнять бетонную смесь в уложенном слое следует только после окончания распределения и разравнивания ее на бетонируемой площади.

Производительность вертикального глубинного вибратора можно определить по формуле:

$$P_{\text{в}} = \frac{2k \cdot R_{\text{в}}^2 \cdot h_b \cdot 3600}{t_{\text{ц}}}, \frac{\text{м}^3}{\text{час}}, \quad (14)$$

где: k – коэффициент использования рабочего времени, который принимается в пределах значений 0,8–0,9 и учитывает время, необходимое на перестановку вибраторов;

$t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла вибрирования:

$$t_{\text{ц}} = t_n + t_{\text{в}} + t_u, \quad (15)$$

где: t_n – продолжительность погружения работающего вибратора 5–10 с (при длине рабочей части 0,4...0,8 м);

$t_{\text{в}}$ – продолжительность вибрирования на одной позиции 10–20 с;

t_u – продолжительность извлечения работающего вибратора из пластичных смесей ($\text{ОК} \geq 2\text{ см}$) – 5–10 с, жестких смесей ($\text{ОК} < 2\text{ см}$) – 15–20 с.

Таким образом продолжительность цикла уплотнения бетонной смеси на одной позиции составляет 30–50 с.

Продолжительность вибрирования зависит от вида и мощности виброизлучателя, состава смеси и ее подвижности, армирования и габаритов бетонируемой конструкции и других факторов.

Увеличение времени вибрирования смеси для данного типа вибратора, установленного натурными испытаниями, не повышает плотность бетона и может привести к расслоению смеси.

Скорость извлечения вибратора из бетонной смеси зависит от ее удобоукладываемости. При уплотнении подвижных смесей скорость извлечения вибратора ориентировочно равна скорости его гравитационного погружения и составляет 5–6 м/мин. Для жестких смесей скорость извлечения вибратора существенно ниже и составляет не более 2 м/мин. Следует учитывать, что при слишком медленном извлечении вибратора возможно расслоение уплотненной смеси. При чрезмерно высокой скорости извлечения вибратора из смеси могут остаться незаполненными бетоном отверстия от вибронаконечника.

Для повышения производительности глубинных вибраторов их объединяют в пакеты, размещая на общей раме.

При одновременном воздействии нескольких вибраторов на конус бетонной смеси, выгруженной из средств порционной подачи, происходит быстрое разравнивание смеси. Вследствие суперпозиции (сложения) колебаний отдельных вибраторов возникает более интенсивное воздействие на бетонную смесь, чем от того же числа одиночных вибраторов. При использовании пакета вибраторов уменьшается потребность в подъемно-транспортных средствах и в обслуживающем персонале.

Для механизированной укладки бетонной смеси тракторным или крановым способом применяют плоские или пространственные пакеты вибраторов.

При компоновке пакета необходимо учитывать данные устанавливаемого в пакете вибратора, назначение пакета и характеристики подъемно-транспортных средств. При проектировании пакета также необходимо учиты-

вать размещение арматуры в конструкции или размещать арматуру с учетом пакетного вибрирования.

Расстояние L_n между осями вертикальных цилиндрических вибраторов в пакете принимается равным:

$$L_n = 1,5R_g, \quad (16)$$

где R_g – радиус действия одного вибратора.

Для горизонтальных вибраторов это расстояние равно:

$$L_n = 2\sqrt{R_g^2 - (h_b - \delta)^2}, \quad (17)$$

где: h_b – толщина слоя бетонной смеси;

δ – расстояние от оси вибратора до подошвы слоя, принимаемое равным $2,5d_{max}$;

d_{max} – максимальный диаметр крупного заполнителя.

Скорость протягивания пакета горизонтальных вибраторов при уплотнении бетонной смеси принимается равной:

$$V = \frac{L_g}{t_g}, \quad (18)$$

где: V – скорость протаскивания, м/мин;

L_g – длина рабочего органа вибраторов, м;

t_g – продолжительность вибрирования, 1–1,5 мин.

Плоские пакеты вибраторов используют при работе способом непрерывного протаскивания трактором в бетонной смеси и циклическим способом при шаговой перестановке пакета краном.

Пространственные пакеты используют при циклическом способе уплотнения смеси, путем перестановки их краном.

Компоновка вертикальных глубинных вибраторов в подвесном пакете, предназначенном для уплотнения бетонной смеси при порционной подаче, должна быть увязана с вместимостью применяемых бадей и толщиной укладываемых слоев.

Желательно, чтобы зона действия пакета охватывала площадь, на которую должна быть равномерным слоем распределена поданная бадьей порция бетонной смеси. Если это невозможно, то необходимо планировать разравнивание конуса бетонной смеси в несколько приемов.

Площадь участка $F_{\bar{o}}$, на котором необходимо распределить бетонную смесь, равна:

$$F_{\bar{o}} = \frac{V_{\bar{o}}}{h_{\bar{o}}}, \text{ м}^2, \quad (19)$$

где: $V_{\bar{o}}$ – объем бадьи, м^3 ;

$h_{\bar{o}}$ – толщина слоя бетонной смеси, м.

Зона действия пакета из четырех вибраторов (рисунок 30) определяется площадью квадрата F_n со стороной равной, примерно, $3R_{\bar{o}}$, т.е.

$$F_n = 9 \cdot R_{\bar{o}}^2, \text{ м}^2. \quad (20)$$

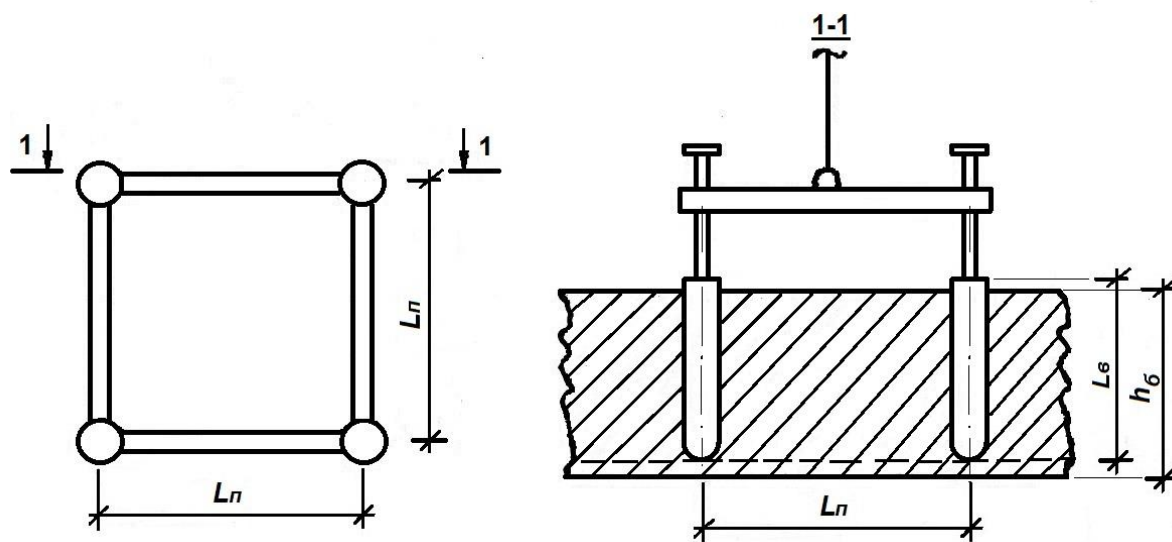


Рисунок 30 – Схема пакета из четырех вертикальных глубинных вибраторов

Количество перестановок пакетов n для разравнивания и уплотнения бетонной смеси объемом $V_{\bar{o}}$ равно:

$$n = \frac{F_{\bar{\delta}}}{F_n}. \quad (21)$$

Производительность пакета из четырех вибраторов ($n = 4$):

$$P_{n\bar{\delta}} = \frac{9 \cdot k \cdot R_{\bar{\delta}}^2 \cdot h_{\bar{\delta}} \cdot 3600}{t_{\bar{\delta}}} \approx 4,5 \cdot P_{\bar{\delta}}, \quad \text{м}^3/\text{час}, \quad (22)$$

где: k – коэффициент использования рабочего времени, равный 0,8–0,9;

$P_{\bar{\delta}}$ – производительность одного вертикального глубинного вибратора.

Основными технологическими параметрами, определяющими производительность поверхностных вибраторов, является толщина укладываемых слоев бетонной смеси $h_{\bar{\delta}}$ и скорость перемещения в процессе уплотнения смеси $V_{\bar{\delta}}$.

Согласно требованию [15] при уплотнении бетонной смеси поверхностными вибраторами, $h_{\bar{\delta}}$ принимается в зависимости от армирования конструкции. Для неармированной конструкции $h_{\bar{\delta}} \leq 25$ см, с одиночной арматурой $h_{\bar{\delta}} \leq 15$ см и с двойной арматурой $h_{\bar{\delta}} \leq 12$ см.

Выбор типа уплотнителя должен осуществляться в соответствии с этими требованиями. Для конкретных случаев скорость перемещения поверхностного вибратора устанавливается опытом. Обычно для наиболее распространенных условий (толщина слоя бетонной смеси 10–15 см, осадка конуса 1–3 см) скорость перемещения принимают равной 0,5–1 м/мин.

Производительность поверхностного вибратора:

$$P_{\bar{\delta}} = \frac{k \cdot h_{\bar{\delta}} \cdot L_{\bar{\delta}} \cdot V_{\bar{\delta}}}{60}, \quad \text{м}^3/\text{час}, \quad (23)$$

где: k – коэффициент использования рабочего времени, равный 0,9;

$h_{\bar{\delta}}$ – толщина укладываемого слоя бетонной смеси, м;

$L_{\bar{\delta}}$ – длина уплотнителя (виброрейки), м;

$V_{\bar{\delta}}$ – скорость перемещения уплотнителя, м/мин.

Прикрепляемые вибраторы применяют в строительной практике сравнительно редко. Они требуют для своей установки и демонтажа существенных затрат ручного труда. Опалубка, к которой крепят такие вибраторы, должна быть

более жесткой и прочной, чем это требуется при укладке бетонной смеси с помощью глубинных вибраторов. Однако, они оказываются удобными, например, при омоноличивании стыков сборных железобетонных конструкций, обетонировании стальных сердечников колонн и т.п.

Радиус действия таких вибраторов находится в пределах 110–225 см (в зависимости от частоты колебаний и возмущающей силы вибратора). Амплитуда смещения бетонной смеси при наружном вибрировании уменьшается с удалением от вибрируемой опалубки.

Вибраторы крепятся к элементам жесткости опалубки. При установке их на гибкую палубу щита вибрация быстро затухает. Нижнюю часть опалубки колонн обычно не удается хорошо провибрировать наружным вибратором из-за затухания колебаний в зоне опирания опалубки на основание. В связи с этим нижнюю часть колонн рекомендуется уплотнять глубинным вибратором или бетонировать на высоту 10–15 см пластичной бетонной смесью.

Загрузка опалубки бетонной смесью должна производиться послойно по мере уплотнения. При этом вибраторы включают по очереди, начиная с нижних. При недостаточном количестве вибраторов в процессе бетонирования их переставляют, что влечет за собой необходимость в технологических перерывах в процессе бетонирования.

Выбор типа вибратора при устройстве монолитных конструкций зависит от ряда конструктивных, технологических и организационных факторов. В значительной мере тип вибратора зависит от формы, размеров и степени армирования конструкции.

Глубинные вибраторы целесообразно применять если высота конструкции не менее длины рабочего органа вибратора. В противном случае производительность, а, следовательно, и эффективность работы таких вибраторов значительно снижается. Исключение составляют горизонтальные конструкции, такие как балки, прогоны, ригели, свайные ростверки, при бетонировании которых применение глубинных вибраторов всегда целесообразно.

В распластанных конструкциях, имеющих, как правило, высоту слоя бетонной смеси (h_b) меньше указанной величины целесообразно применение поверхностных вибраторов. К этим конструкциям относят бетонные полы, монолитные плиты перекрытий зданий, днища железобетонных резервуаров, дорожные и аэродромные покрытия и др.

Для уплотнения бетонной смеси при бетонировании колонн, тонких стен в вертикальных стыках сборных и шпонках сборно-монолитных конструкций целесообразно применение подвесных виброимпульсных уплотнителей или прикрепляемых вибраторов (таблица 13).

Приведенные рекомендации имеют достаточно условный характер и определяют ориентировочно область применения различных типов вибраторов.

Разделение конструкций на массивные и немассивные условно и определяет лишь оптимальную область применения мощных подвесных и ручных глубинных вибраторов.

В армированных конструкциях расположение арматуры должно учитываться при выборе геометрических параметров подвесных вибропакетов. Если при этом оптимальное взаимоположение вибраторов в пакете не обеспечивается, необходимо корректировать положение арматурных стержней или переходить на одиночный вибратор.

После выбора типа вибратора подбирают марку вибратора, а также количество вибраторов n , обеспечивающих заданную интенсивность бетонирования конструкции:

$$n = \frac{I_b}{P_e \cdot 8}, \quad (24)$$

где: I_b – интенсивность бетонирования конструкции, м³/смена;

P_e – производительность вибратора, м³/час.

Таблица 13 – Рекомендации по выбору типа вибратора

| Бетонируемые конструкции | Тип вибратора |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Конструкции толщиной $h_k \geq L_g$:</p> <p>1.1. Массивные, объемом $V_k \geq 10 \text{ м}^3$</p> <ul style="list-style-type: none"> – неармированные – армированные <p>1.2. Немассивные, объемом $V_k < 10 \text{ м}^3$</p> <p>1.3. Вертикальные стыки сборных железобетонных и сборно-монолитных конструкций</p> | <p>Глубинные подвесные вибраторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пакеты пространственные вертикальные, наклонные, горизонтальные; – пакеты плоские, одиночные вибраторы <p>Ручные глубинные вибраторы</p> <p>Виброимпульсные уплотнители, прикрепляемые вибраторы</p> |
| <p>2. Распластанные конструкции толщиной $h_k < L_g$:</p> <p>2.1. шириной $B_k \leq 2 \text{ м}$</p> <p>2.2. шириной $B_k > 2 \text{ м}$.</p> | <p>Виброплощадки</p> <p>Виброрейки</p> |

Пример 1. Подобрать вибратор для уплотнения бетонной смеси (ОК 3–4 см) при устройстве ступенчатых фундаментов объемом по 6 м^3 каждый. Интенсивность бетонирования бадьями $I_b = 40 \text{ м}^3/\text{смена}$, продолжительность цикла вибрирования $t_{\text{в}} = 40 \text{ с}$.

1. Исходя из типа бетонируемых конструкций предварительно принимается глубинный вибратор с гибким валом типа ИВ-116А, имеющий вибронаконечник диаметром $d_g = 76 \text{ мм}$ и длиной $L_g = 430 \text{ мм}$.

2. По формуле (13) определяется рабочий радиус вибратора:

$$R_g = 4 \cdot 7,6 = 30,4 \text{ см.}$$

3. С учетом требований [15] рассчитывается максимальная допустимая толщина укладываемых слоев бетонной смеси:

$$h_{\bar{o}} = 1,25 \cdot 0,43 = 0,54 \text{ м.}$$

4. По формуле (14) определяется часовая производительность вибратора:

$$P_{\bar{o}} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 0,3^2 \cdot 0,54 \cdot 3600}{40} = 7 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Сменная производительность вибратора составит:

$$P_{\bar{o}c} = 8 \cdot 7 = 56 \text{ м}^3/\text{смена.}$$

5. Сравнивается заданная интенсивность бетонирования фундаментов и производительность вибратора.

Учитывая, что $P_{\bar{o}} > I_{\bar{o}}$ вибратор типа ИВ-116А обеспечивает укладку бетонной смеси в течение смены.

Если количество глубинных вибраторов с гибким валом, обеспечивающих заданную интенсивность бетонирования превышает два, целесообразно применить подвесные вибраторы, имеющие большую производительность. Если же количество подвесных вибраторов более одного, то их рекомендуется объединить в пакеты.

Пример 2. Подобрать глубинные вибраторы при бетонировании монолитной железобетонной фундаментной плиты толщиной $h_k = 0,9$ м и объемом 2600 м^3 . Интенсивность бетонирования тремя автобетононасосами $I_{\bar{o}} = 1400 \text{ м}^3/\text{смена}$, продолжительность цикла вибрирования $t_{\bar{u}} = 40$ с.

1. Предварительно принимается один глубинный подвесной вибратор типа ИВ-114А, имеющий вибронаконечник диаметром $d_{\bar{o}} = 133$ мм и длиной $L_{\bar{o}} = 1080$ мм.

2. С учетом требований [15] определяется максимальная допустимая толщина укладываемых слоев бетонной смеси:

$$h_{\bar{o}} = 1,08 - 0,1 = 0,98 \text{ м.}$$

Так как $h_{\bar{o}} > h_k$ вибратор обеспечивает однослойную технологию бетонирования фундаментной плиты.

3. Рассчитывается рабочий радиус вибратора:

$$R_6 = 4 \cdot 13,3 = 53,2 \text{ см} \sim 0,53 \text{ м.}$$

4. По формуле (14) определяется часовая производительность вибратора:

$$P_6 = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 0,53^2 \cdot 0,98 \cdot 3600}{40} = 39,6 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Сменная производительность вибратора составит:

$$P_{6с} = 39,6 \cdot 8 = 316,8 \text{ м}^3/\text{смена.}$$

Так как $I_6 > P_{6с}$, один вибратор не обеспечивает заданную интенсивность бетонирования конструкции. Принимается пакет из четырех вибраторов типа ИВ-114А.

5. Определяется производительность пакета вибраторов по формуле (22):

$$P_{пв} = 4,5 \cdot 316,8 = 1425,6 \text{ м}^3/\text{смена.}$$

Так как $P_{пв} > I_6$ данный пакет обеспечивает укладку бетонной смеси в конструкцию в течении смены.

6. Рассчитывается расстояние между вибраторами в пакете по формуле (16):

$$L_n = 1,5 \cdot 53 = 79 \text{ см.}$$

2.2. Перспективные технологии уплотнения бетонной смеси

2.2.1. Особенности и перспективы применения виброимпульсных технологий

При возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона 45–65 % затрат труда приходится на опалубочные работы. Значительно снизить трудоемкость этих работ можно за счет применения малоподвижных бетонных смесей с осадкой конуса 0–1 см (жесткостью 30–50 с), которые позволяют в ряде случаев применять инвентарные блок-формы, оснащенные специальными виброимпульсными (виброударными) устройствами для уплотнения смеси [2, 10].

По этой технологии формующее устройство (блок-форма) устанавливается с помощью грузоподъемного механизма в проектное положение, закрепляется к основанию и затем производится бетонирование конструкции. При необходимости перед установкой формующего устройства монтируется предусмотренная проектом арматура.

После укладки бетонной смеси производится немедленная распалубка конструкций, то есть формующее устройство снимается и устанавливается на следующую позицию. Достаточная жесткость смеси и виброударный режим уплотнения позволяет и после снятия опалубки сохранить заданные геометрические формы конструкции.

Как указывалось в разделе 1.4, применение глубинных вибраторов для уплотнения малоподвижных бетонных смесей не эффективно. Наибольший уплотняющий эффект таких смесей достигается при совместном действии ударных (импульсных) и вибрационных нагрузок.

Тип виброимпульсного уплотняющего устройства зависит от размеров и формы бетонируемой конструкции и массы уплотняемой бетонной смеси.

Например, при возведении протяженных ленточных фундаментов целесообразно применение формующего устройства, оснащенного виброножом или вибрирующим пуансоном (рисунок 31 *а, б*), при возведении отдельно стоящих фундаментов под сборные железобетонные колонны - виброштампом (рисунок 31 *в*).

Принцип действия виброимпульсных устройств первого типа (рисунок 31 *а*) сходен с принципом действия глубинных виброимпульсных уплотнителей и состоит в следующем. Под действием возмущающей силы P_0 вибровозбудителя 1 происходит раскачка опорной платформы 2 и вибровода 3. В результате соударения вибровода с кронштейнами 4 возникает импульс силы. Частотный спектр ударного импульса – полосовой с бесконечным числом гармоник. Одновременно в результате кругового движения дебалансов вибровозбудителя возникают гармонические колебания системы. Ударные импульсы и гармониче-

ские колебания через вибровод 3, а также опалубочные щиты 5 передаются смеси, в результате чего происходит ее уплотнение.

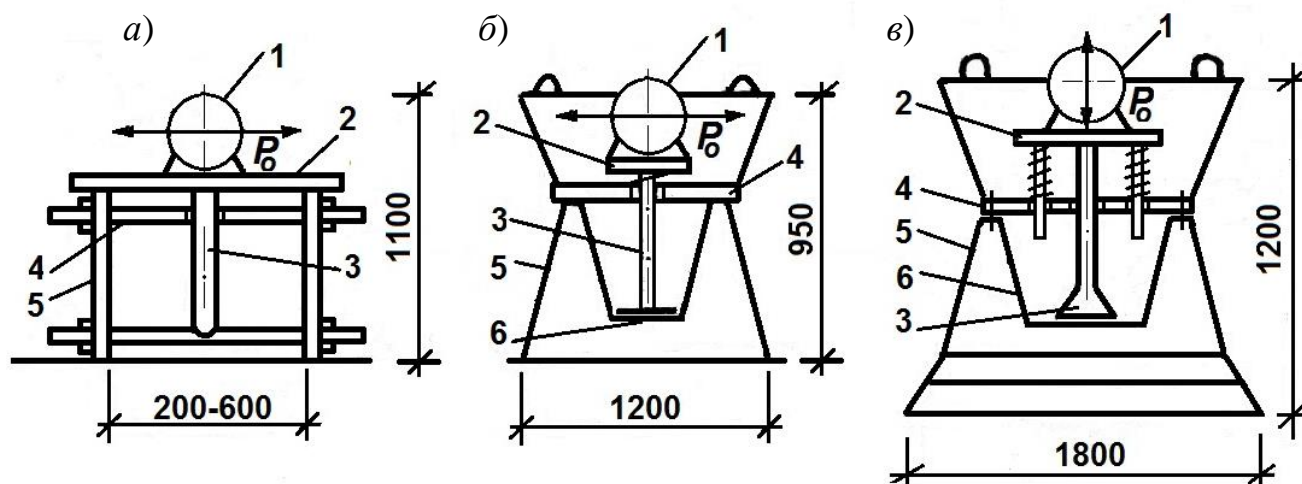


Рисунок 31 – Виброимпульсные устройства для формирования монолитных конструкций из жестких бетонных смесей:

a – с виброножом; *б* – с вибрирующим пуансоном; *в* – с виброштампом;
 1 – вибровозбудитель; 2 – опорная платформа; 3 – вибровод; 4 – кронштейн;
 5 – опалубочный щит; 6 – пустотообразователь

Виброимпульсное устройство второго типа (рисунок 31 *б*) имеет специальный ударный орган – подвижный вибровод 3, прикрепленный к подпружиненной опорной платформе 2, на которой установлен вибратор общего назначения с частотой колебаний 24–25 Гц.

Жесткость пружин виброимпульсного устройства третьего типа (рисунок 31 *в*) подбирается таким образом, чтобы частота свободных колебаний подвижной части устройства была равна частоте вынужденных колебаний вибровозбудителя, что позволяет подвижной системе колебаться в резонансном режиме.

Устройство действует следующим образом. Бетонную смесь жесткостью 30–50 с загружают в форму до верхних кромок боковых опалубочных щитов 5.

При включенном вибровозбудителе колебаний 1 виброимпульсы поступают через опорную платформу 2 к жестко укрепленному на ней виброводу 3.

Под действием вертикальной составляющей вынуждающей силы вибровод соударяется с дном пустотообразователя 6, который подвижно закреплен

фиксаторами и под действием ударов погружается в бетонную смесь на заданную глубину. Возникает эффект штампования смеси, т.е. она уплотняется под действием ударных нагрузок и гармонических колебаний вибровозбудителя.

Виброимпульсные устройства должны обеспечивать оптимальный режим уплотнения бетонной смеси заданной консистенции по всему объему бетонируемого участка конструкции или конструкции в целом.

Для виброимпульсных устройств рассматриваемого типа возмущающая сила вибровозбудителя определяется по формуле:

$$P_0 = Q_{np} \cdot A(W^2 - W_{ск}^2), \text{ кг}, \quad (25)$$

где: Q_{np} – приведенная масса системы, кг·с²/см;

A – амплитуда, см;

W – круговая частота, 1/с;

$W_{ск}$ – то же, собственных свободных колебаний, 1/с.

Приведенную массу определяют в соответствии с типом рабочего органа устройства:

$$Q_{np} = \frac{Q_b + 0,2Q_k}{g}, \text{ кг}, \quad (26)$$

где: Q_b – общая масса уплотняющего устройства (виброштампа), кг;

Q_k – масса уплотняемого участка конструкции, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Интенсивность режима объемного вибропрессования можно обеспечить при условии соответствия массы уплотняющего устройства Q_b массе уплотняемого участка конструкции Q_k и возмущающей силы вибровозбудителя P_0 .

Применение виброимпульсных уплотнителей позволит:

- уменьшить расслаиваемость подвижных бетонных смесей при воздействии на них виброударных нагрузок;
- получить высокое качество поверхности бетонируемых конструкций;
- в 10-15 раз сократить продолжительность уплотнения, а значит повысить производительность процесса бетонирования конструкций.

2.2.2. Опыт применения виброимпульсных уплотнителей при устройстве монолитных и сборно-монолитных конструкций

Для уплотнения подвижных бетонных смесей с ОК 8–12 см в высоких конструктивных элементах (колоннах, стенах, шпонках сборно-монолитных конструкций из унифицированных дырчатых блоков типа УДБ и т. п.), укладку бетонной смеси приходится производить послойно из-за сравнительно небольшой длины рабочего органа серийных ручных и подвесных вибраторов. Это значительно повышает трудоемкость технологических процессов, удлиняет сроки строительства объектов.

Для повышения производительности труда был разработан глубинный виброимпульсный уплотнитель бетонной смеси типа ВГР-2 (рисунок 32) с длиной цилиндрического рабочего органа 6 м и диаметром 76 мм, позволяющий непрерывно вести укладку бетонной смеси и уплотнять ее сразу на всю высоту конструкции [1]. ВГР-2 предназначен для уплотнения подвижных бетонных смесей (ОК не менее 8 см) в вертикальных шпонках сборно-монолитных конструкций и в конструкциях типа «колонна».

В этом случае для уплотнения бетонной смеси в конструкциях высотой до 6 м к рассматриваемой системе необходимо приложить виброимпульсные нагрузки, направленные против сил инерции и обеспечивающие сдвиговые усилия, превышающие предельные напряжения сдвигу бетонной смеси.

Виброимпульсный уплотнитель с электромеханическим возбуждением (рисунок 32) работает следующим образом. Колебания от вибровозбудителя 1 (в данном случае от вибратора общего назначения ИВ-98Б) через опорную площадку 2 передаются внутреннему виброводу 5 и через опорную площадку 2 наружному виброводу 4.

В результате вибрационной раскачки под действием вынуждающей силы Q_x вибровозбудителя 1 и внутреннего вибровода 5 возникают ударные нагрузки, которые через кронштейны 3 передаются внешнему виброводу и бетонной

смеси. Передача ударных нагрузок предусматривается и за счет соударения виброводов по всей их длине.

Наличие внутреннего и наружного виброводов позволяет производить эффективную передачу вибрационных колебаний и ударных импульсов по длине рабочей части уплотнителя независимо от глубины погружения ее в уплотняемую среду, повышает эффективность удаления воздуха из бетонной смеси и ее уплотнения.

Ударные импульсы возникают в результате соударения кронштейнов 3 (рисунок 32 а) с наружным виброводом 4 и наружного и внутреннего виброводов по их длине.

Для фиксации уплотнителя в центре шпонки разработаны кронштейны с фиксаторами (поз. 7, рисунок 32).

В соответствии с компоновкой вибратора ИВ-98Б и его конструктивными особенностями радиус инерции дополнительного дебаланса (предусмотренного при конструировании уплотнителя) относительно оси вращения принят $r_{\partial} = 110$ мм.

При данном радиусе инерции по формуле (27) рассчитаны массы дебаланса m_{∂} при различных значениях вынуждающей силы и частоты вибратора:

$$m_{\partial} = \frac{Q_0}{r_{\partial}} v_0^2, \quad \text{кг}, \quad (27)$$

где: Q_0 – вынуждающая сила, кН;

r_{∂} – радиус дебаланса, мм;

v_0 – частота вибратора, Гц.

На рисунке 33 представлен график функции $m_{\partial} = f(Q_0, r_{\partial}, v_0)$.

Добавочная частота $v_0 = 25$ Гц выбрана из условия размещения дебаланса массой 1300 г в пределах габаритных размеров торцевой части вибратора ИВ-98Б. При этом вынуждающая сила составляет 4 кН, а амплитуда виброимпульсного смещения подвижной части вибратора A при значении частоты $v_0 = 25$ Гц составит 7 мм.

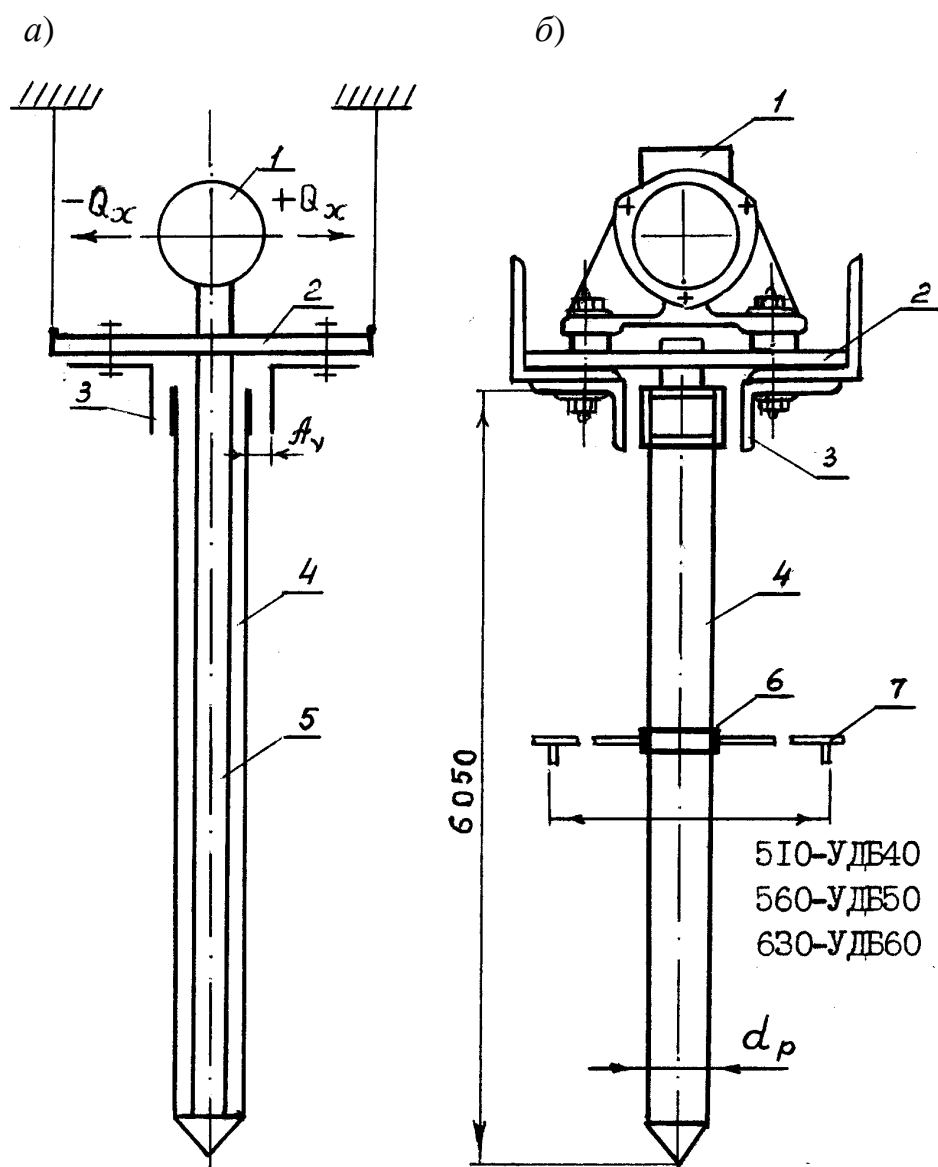


Рисунок 32 – Виброимпульсный уплотнитель с цилиндрической рабочей частью ВГР2:

a – кинематическая схема; *б* – конструктивная схема:

Q_x – горизонтальная составляющая вынуждающей силы вибровозбудителя 1;

A_v – амплитуда раскачки внутреннего вибровода 5; 1 – вибровозбудитель;

2 – опорная площадка; 3 – кронштейны; 4 – наружный вибровод;

6 – кондуктор; 7 – кронштейны с фиксаторами

Амплитуда виброимпульсного смещения бетонной смеси на частоте $\nu_0 = 25$ Гц на расстоянии от вибратора $r_x = 4$ см равна 0,36 мм. При двухчастотном возбуждении ударных импульсов частицы бетонной смеси находятся в сложном колебательном движении, что способствует повышению эффективности ее уплотнения.

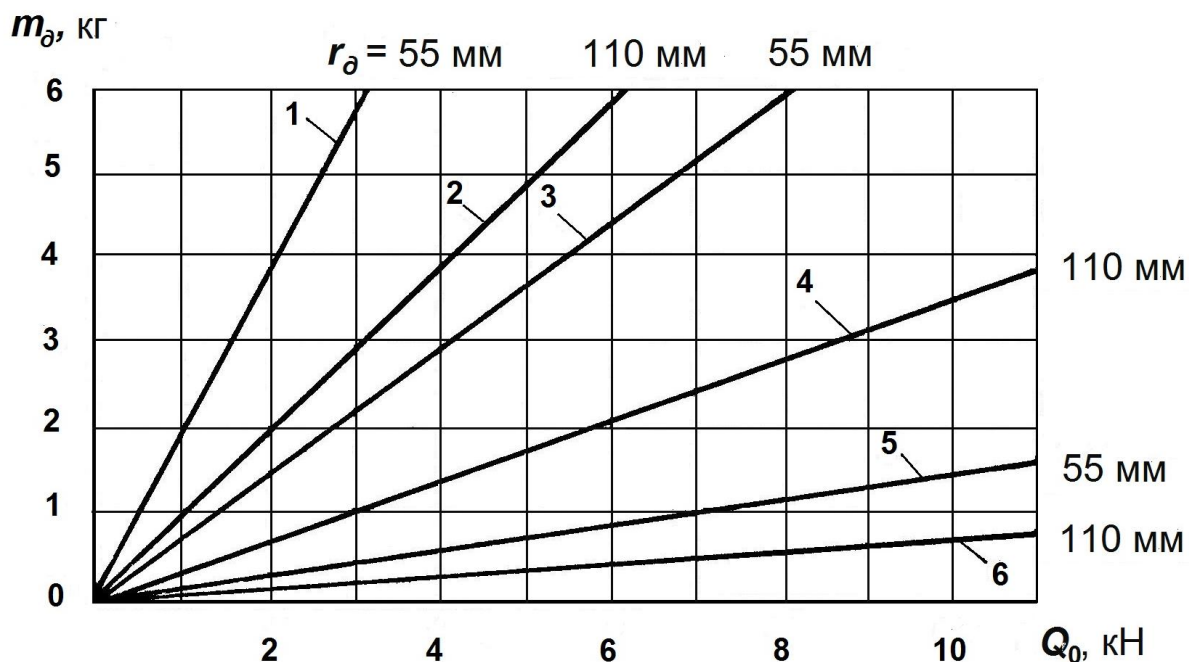


Рисунок 33 – Зависимость массы дебаланса m_d вибровозбудителя от вынуждающей силы Q_0 и радиуса дебаланса r_d :

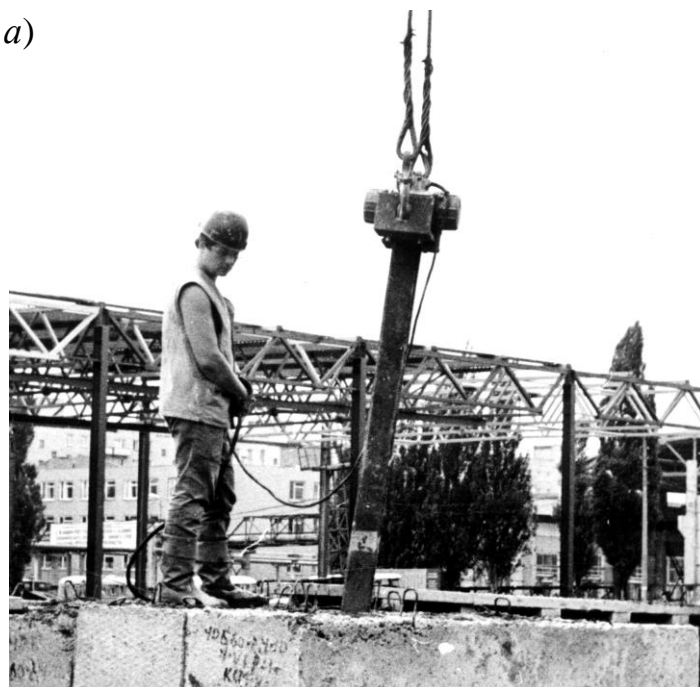
1, 2: $\nu_0 = 15$ Гц;

3, 4: $\nu_0 = 25$ Гц;

5, 6: $\nu_0 = 50$ Гц

С целью дальнейшего повышения эффективности виброимпульсного уплотнения подвижных бетонных смесей в тонкостенных конструкциях и вертикальных стыках сборных железобетонных конструкций разработан виброимпульсный уплотнитель типа ВГР-1 с плоским рабочим органом шириной 12 см, длиной 3 м и массой 105 кг (рисунок 34 а).

a)



б)



Рисунок 34 – Уплотнение бетона в шпонках сборно-монолитных конструкций:
a – ВГР-1 с плоской рабочей частью; *б* – ВГР2 с цилиндрической рабочей частью

В этом случае в качестве вибровозбудителя колебаний принят вибратор общего назначения ИВ-105 с частотой колебаний $\nu_0 = 25$ Гц и вынуждающей силой $Q_0 = 16$ кН. С учетом выбранного значения ν_0 и Q_0 определены расчетные параметры уплотнителя.

Амплитуда вибрационного смещения ($r_x = 4$ см) бетонной смеси на частоте колебаний $\nu_0 = 25$ Гц, $A_i = 0,28$ мм, радиус действия уплотнителя при высоте столба бетонной смеси 6 м составляет около 33 см.

Для одновременной работы блока трех вибраторов с цилиндрической рабочей частью диаметром $d_p = 6$ см, длиной $L_p = 6$ м принят вибровозбудитель ИВ-105. Масса подвижной части этого блока равна 200 кг (рисунок 35).

При этом обеспечивается эффективное уплотнение бетонной смеси сразу в трех монолитных железобетонных шпонках сборно-монолитных конструкций из блоков УДБ высотой 6 м.

С целью увеличения производительности труда целесообразно использовать блок из 2–3 виброимпульсных уплотнителей. В блоке из двух уплотнителей с плоской рабочей частью 2ВГР-1 в качестве вибровозбудителя использован вибратор общего назначения типа ИВ-106 с вынуждающей силой $Q_0 = 10$ кН и частотой $\nu_0 = 25$ Гц.

Для фиксации виброимпульсных уплотнителей в центральной части, разработан кондуктор (поз. 6, 7, рисунок 32) в виде стальной прямоугольной рамки длиной $1,3d_p$ (в соответствии с диаметром или шириной рабочего органа уплотнителя) и шириной $0,5b_p$ (толщиной плоской рабочей части уплотнителя).

Виброимпульсным уплотнителям (таблица 14) присвоены маркировочные коды, состоящие из букв и цифр. Например, ВГР-1, где В – вибратор, Г – глубинный, Р-1 – тип рабочего органа.

Экспериментально доказано, что при виброимпульсном уплотнении обеспечивается высокое качество бетона в конструкциях высотой до 6 м.

Прочность бетона в опытных образцах выше требуемой, а коэффициент вариации ее однородности $V_m = 9$ %, что в два раза меньше допустимого.

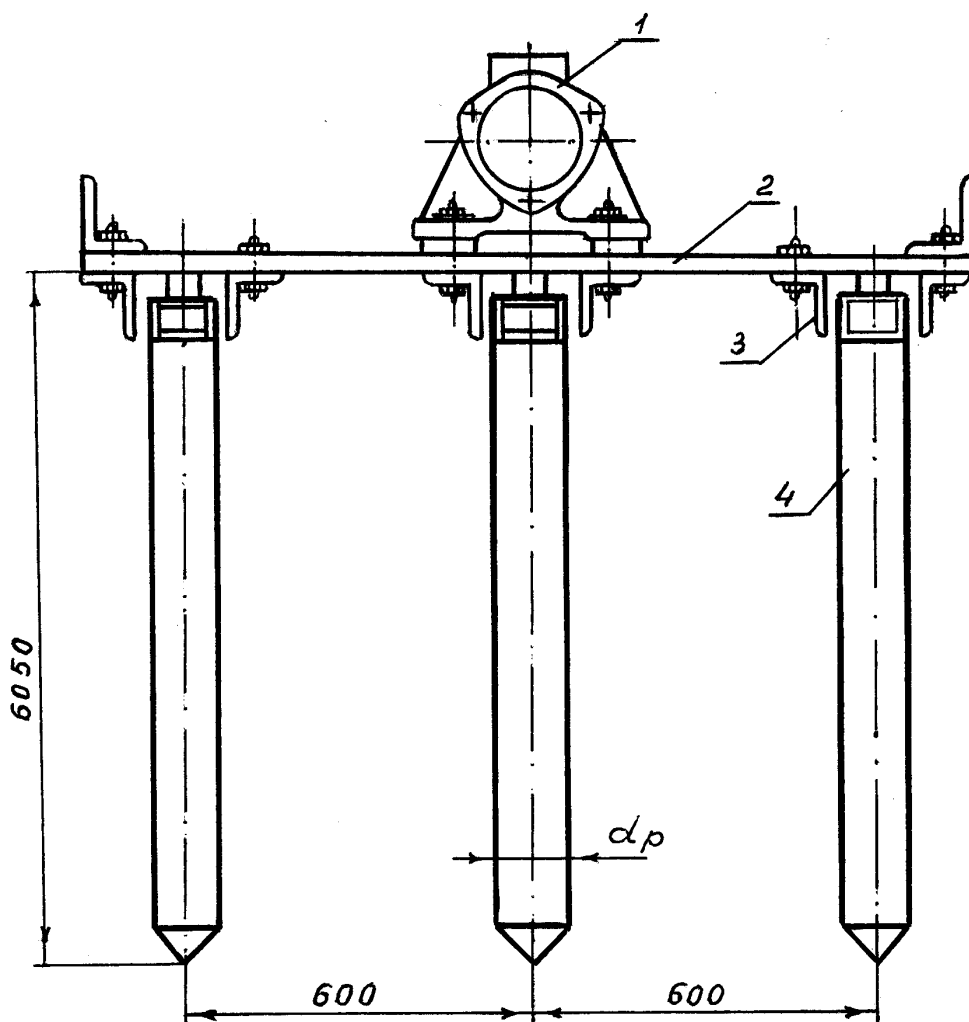


Рисунок 35 – Блок виброимпульсных уплотнителей с цилиндрическим рабочим органом типа ЗВГР2:

- 1 – вибровозбудитель; 2 – опорная площадка; 3 – кронштейны;
4 – рабочий орган

Применение виброимпульсных уплотнителей позволит значительно снизить трудоемкость и энергоемкость процесса уплотнения бетонной смеси.

Так, например, при уплотнении бетонной смеси в колоннах высотой 6 м при послойной укладке бетонной смеси необходимо выполнить около 10 технологических циклов уплотнения смеси, а с помощью ВГР-2, имеющего длину рабочего органа 6 м, 1 цикл. При этом время уплотнения бетонной смеси в пределах одного технологического цикла составляет 45–50 сек.

Таблица 14 – Виброимпульсные уплотнители бетона

| Марка | Тип рабочей части | d_p , см | L_p , м | Масса, кг | Вибровозбудитель | Q_0 , кН | ν_0 , Гц |
|--------|-------------------|------------|-----------|-----------|--------------------|------------|--------------|
| ВГР-1 | плоская | 12 (24) | 6 | 100 | ИВ-98Б (ИВ-105) | 8 (16) | 50 (47) |
| ВГР-2 | цилиндр | 6 (8) | 6 | 150 | ИВ-98Б (ИВ-105) | 8 (16) | 50 (47) |
| 2ВГР-1 | плоская | 12 | 6 | 200 | ИВ-106 | 10 | 23 |
| 2ВГР-2 | цилиндр | 6 | 6 | 240 | ИВ-106 | 10 | 23 |
| 3ВГР-2 | цилиндр | 6 | 6 | 280 | ИВ-105 | 30 | 47 |

Примечание. В скобках приведены параметры вибраторов, рекомендуемых для уплотнения бетонной смеси в шпонках сборно-монолитных конструкций из унифицированных железобетонных дырчатых блоков УДБ60.

Виброимпульсные уплотнители нашли широкое применение при строительстве объектов промышленного назначения в Ростовской области, что позволило вдвое снизить трудоемкость бетонных работ при устройстве сборно-монолитных конструкций из железобетонных блоков типа УДБ.

2.2.3. Особенности и перспективы применения пластинчатых и пружинных вибраторов при уплотнении бетонной смеси

Для обеспечения прочного и плотного сцепления бетонного основания со свежееуложенным бетоном путем его уплотнения в контактной зоне в Ростовском государственном строительном университете под руководством доцента Жолобова А.Л. разработан глубинный пластинчатый вибратор, рабочий орган

которого представляет собой пружину изгиба длиной 0,3–0,5 м и шириной 0,05–0,15 мм, одним концом присоединенную к ручному электромагнитному вибратору. Другой ее конец свободный и имеет утолщение (рисунок 36).

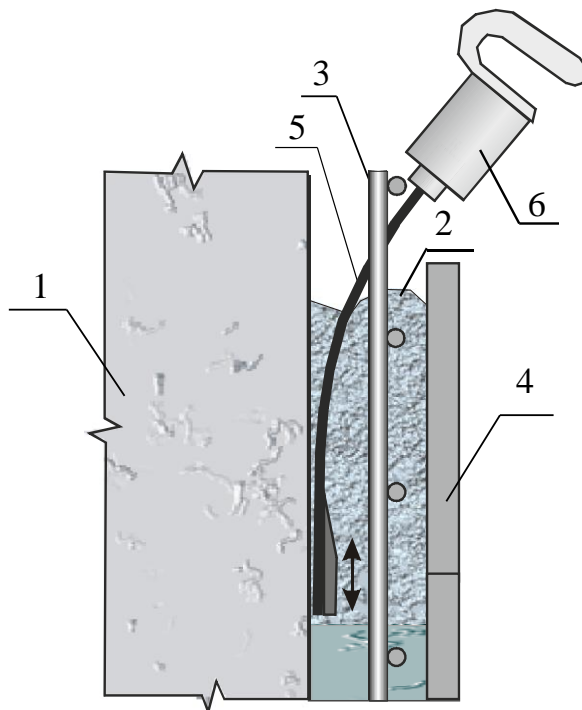


Рисунок 36 – Схема применения глубинного пластинчатого вибратора при уплотнении бетонной смеси в контактной зоне с вертикальной поверхностью бетонного основания:

1 – бетонное основание; 2 – стальная арматура; 3 – готовая к употреблению бетонная смесь; 4 – щиты переставной опалубки; 5 и 6 соответственно, рабочий орган и электромагнитный вибратор глубинного пластинчатого вибратора

Пружинящие свойства рабочему органу необходимы для обеспечения его постоянного контакта с поверхностью бетонного основания (независимо от ее ровности и положения в пространстве), а по окончании вибрирования – для восстановления своей первоначальной прямолинейной формы.

Возможный вариант применения глубинного пластинчатого вибратора при уплотнении бетонной смеси в контактной зоне с вертикальной поверхностью бетонного основания представлен на рисунке 36.

Частота колебаний глубинного пластинчатого вибратора составляет 50 Гц, амплитуда колебаний его рабочего органа – 0,5 мм в продольном направлении.

Под действием направленной вибрации неизомерные частицы соответственно ориентируются. Их наибольшая ось устанавливается перпендикулярно направлению вибрации, что является причиной анизотропии свойств и повышения прочности бетона зоне вибрирования.

Воздействие рабочего органа на свежееуложенный бетон в зоне контакта с подложкой способствует увеличению прочности их сцепления. Это явление можно объяснить тем, что воздействие рабочего органа на бетонную смесь в указанной зоне приводит: с одной стороны, к псевдооживлению жесткой бетонной смеси, что обеспечивает более эффективное её уплотнение в контактной зоне и увеличение прочности сцепления бетона с подложкой, а с другой стороны – к виброактивации цемента, так как вибрационная обработка разрушает коагуляционные структуры из зерен цемента и в результате их соударений активнее происходят процессы диспергирования, что ускоряет реакцию гидратации цемента с формированием более плотной структуры цементного камня.

Существенное влияние на прочность сцепления бетона ремонтного слоя с поверхностью ремонтируемой конструкции оказывают скорость перемещения и толщина рабочего органа вибратора. Так при толщине наконечника рабочего органа 3-5 мм с увеличением скорости его перемещения до 15 мм/с наблюдается прирост прочности сцепления бетона. Это можно объяснить тем, что при увеличении скорости перемещения наконечника за ним, как под поршнем резко возрастает разрежение, способствующее вакуумированию бетона. При более высокой скорости перемещения вслед и более толстом наконечнике рабочего органа в указанном месте образуется полость, которая не успевает заполняться бетонной смесью, что ведет к образованию дефектов бетонирования в контактной зоне, а также происходит снижение эффекта уплотнения бетонной смеси из-за сокращения продолжительности вибрационного воздействия. При перемещении рабочего органа со скоростью менее 10 мм/с не обеспечивается раз-

режение за утолщенным наконечником и происходит расслоение бетонной смеси, что ведет к снижению плотности и прочности сцепления бетона с обетонируемой конструкцией.

Максимальная прочность сцепления бетона может быть достигнута при плотном контакте (минимально возможном зазоре) рабочего органа с поверхностью обетонируемой конструкции, так как при этом происходит механическое истирание (измельчение) компонентов бетонной смеси между утолщенным наконечником рабочего органа и обетонируемой поверхностью, обладающей абразивными свойствами. При увеличении зазора до 5 мм эффект такого измельчения существенно снижается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивное развитие технологий и средств подачи бетонной смеси к месту укладки при устройстве монолитных конструкций, происшедшее в последние десятилетия, позволило в несколько раз повысить производительность и улучшить условия труда бетонщиков, обеспечить сохранность свойств подаваемой бетонной смеси, что положительно отразится на качестве монолитных конструкций.

Весьма перспективными можно считать технологии, основанные на применении таких современных средств подачи бетонной смеси как навесные и переставные инерционные конвейеры, автобетононасосы, оснащенные ленточным транспортером или бетононасосом с распределительной стрелой, а также автобетоносмесители принудительного действия.

Вибрационные технологии уплотнения бетонной смеси, даже несмотря на такие их недостатки как невозможность эффективного применения вибраторов при бетонировании густоармированных конструкций, опасность случайного вибрационного воздействия на арматуру (в результате чего ухудшается прочность сцепления с ней бетона), неравномерность уплотнения бетонной смеси в различных участках монолитных железобетонных конструкций и невозможность неразрушающего контроля его качества, а также вредность вибрационного воздействия на здоровье рабочих, занятых уплотнением бетонной смеси, в настоящее время остаются самыми востребованными.

К наиболее перспективным из этих технологий можно отнести виброимпульсную технологию и методы уплотнения бетонной смеси с помощью пластинчатых и пружинных вибраторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.С. №718262 СССР, М. Кл. В 28В 1/08. Глубинный виброуплотнитель / Ю.Л. Тимофеев. (СССР) № 2655618/29-33; заявл. 18.07.78; опубл. 1980, Бюл. № 8. 2 с.
2. А.С. № 1818235 СССР, М. Кл. В 28В 1/08. Установка для уплотнения изделий из бетонной смеси в форме / Ю.Л. Тимофеев (СССР). № 4818995/33; заявл. 05.03.1990; опубл. 1993, Бюл. № 20. 2 с.
3. Выбор метода подачи бетонной смеси при устройстве бетонной подготовки под малозаглубленные фундаменты / А.Л. Жолобов, О.А. Жолобова, А.А. Тлюстангелов // Инновационные технологии научного развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (20 октября 2016 г., г. Казань). В 3 ч. Ч.2. Уфа: АЭТЕРНА, 2016. С. 55-58.
4. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. 24 с.
5. ГОСТ 18501-73. Оборудование подъемно-транспортное. Конвейеры, тали, погрузчики и штабелеры. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1991. 8 с.
6. Духанин П.В. и др. Разработка технологической карты на возведение монолитного железобетонного каркаса жилого здания: учебное пособие. Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. 75 с.
7. Методические указания по комплексной оценке конкурентоспособности и многокритериальному выбору строительных технологий. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2016. 22 с.
8. Несветаев Г.В. Бетоны. 2-е изд., доп. и перераб. Ростов н/Д.: Феникс, 2013. 381 с.
9. Несветаев Г.В. Технология и качество бетонных работ: учебное пособие. Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2013. 131 с.
10. Пат. 2252138 Российская Федерация, МПК7 В 28 В 1/093. Виброимпульсное устройство для формирования монолитных конструкций из жестких бе-

тонных смесей / Тимофеев Ю.Л., Михалев С.В.; заявитель и патентообладатель ЗАО «КСМ № 1», Ростовский государственный строительный университет. № 2003134111/03; заявл. 24.11.2003; опубл. 20.05.2005. Бюл. № 14. 5 с.

11. Пат. 2489556 Российская Федерация, МПК E04G 21/02. Способ транспортирования бетонной смеси и устройство для его осуществления / Османов С.Г., Жолобов А.Л.; заявитель Ростовский государственный строительный университет. № 2012107056/03; заявл. 27.02.2012; опубл. 10.08.2013. Бюл. № 22. 18 с.

12. Перспективы применения автобетоносмесителей принудительного действия при доставке бетонной смеси на строительные объекты / Ж о л о б о в А. Л. , С о к и р к и н А. С. // Строительство и архитектура – 2020: материалы Международной научно-практической конференции (19–31 октября 2020 г., г. Ростов-на-Дону). Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2020. С. 389–390.

13. Совершенствование технологии инерционно-конвейерного транспортирования бетонной смеси к месту укладки / С.Г. Османов, А.Л. Жолобов // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 4. С. 138-145.

14. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003. М.: Стандартинформ, 2019. 150 с.

15. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. М.: ФЦС, 2013. 197 с.

16. СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ. М.: Стандартинформ, 2019. 77 с.

17. Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон: Технология производства работ. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1991. 576 с.

18. Энгельс Ф. Диалектика природы. Изд-во «ЕЕ Медиа», 2012. 348 с.