

**В.Н.Плосконосов**

# **ТЕХНОЛОГИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Конспект лекций для студентов высших  
учебных заведений специальности  
«Производство строительных изделий  
и конструкций»**

УДК 693.54  
ББК 38.626.1я7  
П 47

Рецензенты:  
заведующий кафедрой «Технология строительного  
производства» БНТУ, д.т.н., профессор **Леонович С.Н.**

главный инженер филиала УП «Институт БелНИИС»  
«Научно-технический центр» **Деркач В.Н.**,

П 47 **Плосконосов В.Н.** Технология монолитного бетонирования в  
строительстве: Конспект лекций.– Брест: изд. БрГТУ, 2011.– Табл. 68,  
ил. 54, библиогр. 40 назв.

**ISBN 978-985-493-178-4**

В книге обобщен отечественный и зарубежный опыт производства монолитного бетона и возведения из его конструкций зданий и инженерных сооружений. Рассмотрены процессы приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси, производства опалубочных и арматурных работ в условиях строительной площадки. Освещены современные методы производства работ в специальных и экстремальных условиях.

Книга предназначена для преподавателей и студентов строительных специальностей, для инженерно-технических работников строительных и проектных организаций.

УДК 693.54  
ББК 38.626.1я7

ISBN 978-985-493-178-4

© В.Н. Плосконосов, 2011.  
© Издательство БрГТУ, 2011

## ВВЕДЕНИЕ

С начала века и в настоящее время бетон прочно занимает место основного строительного материала и, несмотря на появление новых эффективных материалов, он сохранит и в дальнейшем ведущее положение в строительстве. Однако в начале бетон применяли исключительно для монолитных конструкций и сооружений. С 30-х же годов прошлого столетия для повышения индустриальности и темпов строительства он все шире применяется в виде сборного бетона и железобетона; была создана мощная промышленность сборного железобетона, в результате чего несколько отстали технология и средства механизации производства монолитных бетонных и железобетонных работ. Однако в ряде случаев монолитный бетон является экономичнее сборного и в перспективе с переходом на рыночную экономику он становится все более конкурентноспособным и более эффективным по сравнению со сборным железобетоном. В настоящее время около 80% объема монолитного бетона используется в промышленном строительстве для возведения подземных частей зданий и сооружений, для фундаментов под технологическое оборудование и т.п. Монолитный бетон также применяют для возведения тяжелых колонн, различных резервуаров, подпорных стен, дымовых труб, градирен, энергетических объектов, сложных арочных и сводчатых покрытий.

В жилищно-гражданском строительстве из монолитного бетона возводят здания, имеющие сложные по форме планы, здания повышенной этажности, подземные гаражи и торговые центры и т. д.

Монолитный бетон и железобетон широко применяется в дорожном, аэродромном, подземном, шахтном, гидротехническом и водохозяйственном строительстве, при строительстве мостов, портовых сооружений, атомных электростанций и во многих других отраслях строительства. Особенно эффективны монолитные конструкции из железобетона в регионах с высокой сейсмичностью, на просадочных грунтах; в регионах, где отсутствует база строительной индустрии по сборному железобетону.

Широко применяются специальные методы возведения монолитных железобетонных конструкций под водой, из жаростойких, кислото- и щелочестойких бетонов, при бетонировании в скользящей опалубке; с использованием методов вакуумирования, раздельного бетонирования, метода «стена в грунте» и др.

Иногда более эффективно возводить здания и сооружения в сборно-монолитном исполнении, когда часть конструкций выполняется в сборном исполнении, а отдельные участки – в монолитном (например, сборно-монолитные перекрытия).

Выбор более эффективного метода возведения конструкций определяется на основании вариантного проектирования с технико-экономическим обоснованием принятого решения.

В настоящее время накоплен большой научный и практический потенциал круглогодичного производства монолитных бетонных работ, разработаны и выпускаются промышленностью различные высококачественные цементы; нашли широкое применение разнообразные добавки, позволяющие в широких пределах регулировать физико-механические параметры бетонов; создана промышленность эффективных заполнителей бетона.

Основой для кардинального повышения эффективности монолитного бетона, сокращения трудоемкости производства монолитных бетонных работ является широкое внедрение комплексно-механизированной поточной технологии, оснащение строительных организаций индустриальной многооборачиваемой унифицированной опалубкой, высокопроизводительной специализированной техникой, а также повышение квалификации строительных кадров.

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ

Технологический процесс возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона состоит из технологически и организационно взаимосвязанных между собой комплексных заготовительных, транспортных и монтажно-укладочных процессов.

К заготовительным процессам, которые ведутся, как правило, в заводских условиях, относятся: изготовление и комплектация элементов опалубки, арматурных изделий, сборка арматурно-опалубочных блоков, складирование и переработка исходных материалов, подбор состава бетона, его приготовление и др.

Транспортные процессы заключаются в доставке опалубки, арматурных изделий и бетонной смеси к строящимся объектам с использованием обычных и специальных транспортных средств.

Монтажно-укладочные процессы, которые рекомендуется выполнять точными методами, производимыми непосредственно на строительной площадке, включают в себя:

- установку опалубки и поддерживающих ее элементов в проектом положении;

- монтаж арматуры, арматурных изделий и арматурно-опалубочных блоков;

- подача бетонной смеси к месту укладки, ее укладка в опалубку, распределение и уплотнение бетонной смеси;

- уход за уложенным в опалубку бетоном во время его твердения;

- натяжение арматуры и инъекцирование растворной смеси в каналы (при возведении предварительно-напряженных конструкций);

- контроль качества, распалубливание готовых конструкций, их отделка и ремонт дефектов.

В ряде случаев возникает необходимость бетонирования крупногабаритных сборных конструкций непосредственно на объекте (у места их монтажа или на приобъектном полигоне). В этом случае технологическая последовательность работ по существу не изменяется.

В процессе возведения железобетонных конструкций в условиях строительной площадки последовательно выполняют *опалубочные, арматурные и бетонные работы*. Эффективная организация и технология возведения монолитных железобетонных конструкций и сооружений возможна только при тесной взаимосвязи этих работ, образующих в конечном итоге комплекс железобетонных работ, результатом которых является возведение той или иной конструкции.

## 2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ

### 2.1 Общие сведения

Приготовление бетонной смеси, как правило, является одним из основных производств промышленной базы строительных организаций.

Приготовление бетонных смесей включает следующие технологические операции: организация складов компонентов бетона, в том числе операции по приему, складированию, переработке и подаче материалов в расходные бункера бетоносмесительного отделения; дозирование, перемешивание и вы-

грузка бетонной смеси в транспортные средства для доставки ее на строительную площадку. Следовательно, бетонный завод состоит из комплекса зданий и сооружений по выполнению этих операций.

В частности, в состав бетонных заводов, цехов или бетоносмесительных установок (БСУ) в общем виде входят склады цемента, заполнителей и добавок; установки по приготовлению рабочих составов добавок в бетонную смесь; расходные бункера для создания оперативного запаса материалов; внутривозное транспортное оборудование, аппаратура для дозирования компонентов бетонной смеси, смесительное оборудование и устройства для выдачи готовой смеси, устройства автоматического управления и контроля технологических операций, и другие вспомогательные установки (энергетическое хозяйство, компрессорная, отопительная система и др.).

В зависимости от годового объема производства бетонной смеси, длительности эксплуатации бетонные заводы бывают районные стационарные, постоянно действующие; центральные, обслуживающие крупную строительную площадку; инвентарно-блочные, а также мобильные бетоносмесительные установки.

Районные бетонные заводы производительностью 10...20 и более тысяч кубических метров товарного бетона в год обеспечивают им несколько одновременно строящихся объектов данного региона, расположенных в радиусе 25...30 км. Районные бетоносмесительные заводы могут состоять из одной, двух или трех типовых секций. Каждая секция представляет собой самостоятельную технологическую линию. Преимуществами таких заводов по сравнению с центральными заводами, инвентарно-блочными и мобильными БСУ являются более низкая себестоимость и трудоемкость бетонной смеси. А их недостаток – значительные затраты на транспортирование бетонных смесей и снижение ее технологических параметров при длительном нахождении транспортных средств в пути до строительной площадки.

Замена мелких бетонных заводов и БСУ, как правило, ведомственной подчиненности центральным бетонорастворным заводом по производству товарного бетона позволяет во много раз сократить потребность в рабочей силе, резко уменьшить прямые потери цемента, улучшить санитарно-гигиенические условия работающих. Одновременно это позволяет значительно повысить коэффициент использования оборудования а, следовательно, и себестоимость бетонной смеси. Бетонная смесь должна стать товаром, который можно заказать любой строительной фирмой в нужном количестве во всех центрах крупного строительства, где обеспечен постоянный сбыт продукции. Основной путь создания индустрии товарного бетона – строительство комплексно-автоматизированных районных заводов товарного бетона, снабжающих своей продукцией строительные организации вне зависимости их ведомственной подчиненности.

Для сравнительно мелких и рассредоточенных строительных работ используется парк мелких инвентарных и мобильных высоко механизированных и автоматизированных бетонорастворных заводов и установок. При выборе типа завода одним из классификационных признаков является его инвентарность, поставка конструкций завода к месту его монтажа в блочном исполнении. Блочно-модульная система инвентарных бетонных заводов обеспечивает быстроту монтажных и пуско-наладочных работ, существенно сокращая

сроки ввода их в эксплуатацию. Вопрос о размещении бетонного хозяйства, например, в стесненных условиях существующей застройки решается путем отказа от склада заполнителей и предельного увеличения вместимости расходных бункеров (заполнителей – до 500...700 м<sup>3</sup>, цемента до 400...600 т).

## 2.2 Складирование и переработка заполнителей бетона.

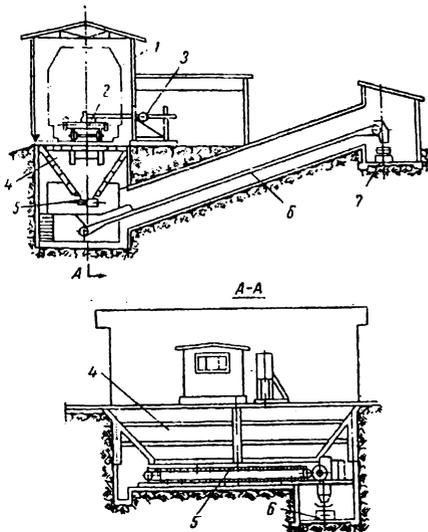
Склады заполнителей бывают различных типов, отличающихся вместимостью, способом хранения и переработки материалов, а также методом загрузки склада и его разгрузки при подаче заполнителей в бетоносмесительное отделение БСУ.

По основной технологической операции в зависимости от способа хранения материалов склады подразделяются на штабельные, полубункерные и силосные.

Наиболее распространены штабельные склады открытого типа, в которых материал складировается на бетонной открытой площадке. Эти склады применяют как для малых, так и для крупных бетонных заводов и БСУ.

Штабельные и полубункерные склады при загрузке с помощью ленточного транспортера, размещенного вдоль склада на специальной эстакаде, называются эстакадными штабельными или эстакадными полубункерными складами. Для загрузки материала в любом месте по длине склада транспортер оборудуется сбрасывающими тележками. Если разгрузка материалов со склада для подачи его в приемные бункера бетонного завода происходит снизу ленточным транспортером, размещенным в подземной подштабельной галерее, склад дополнительно называют траншейным.

Для приема заполнителей с железнодорожных открытых платформ склады часто оборудуют устройствами (рис. 2.1) со стационарной разгрузочной машиной. Заполнители с железнодорожной платформы 2 поступают в прирельсовый бункер 4, откуда наклонный транспортер 6 подает их на транспортер 7, идущий к складу. Такие приемные устройства используют и при поступлении заполнителей в саморазгружающихся платформах, вагонах и полувагонах, а также в автосамосвалах, но без применения разгрузочной машины.

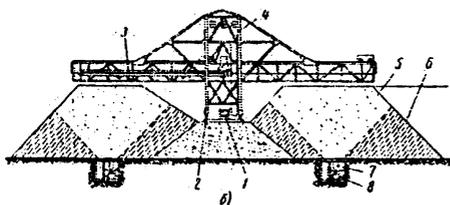
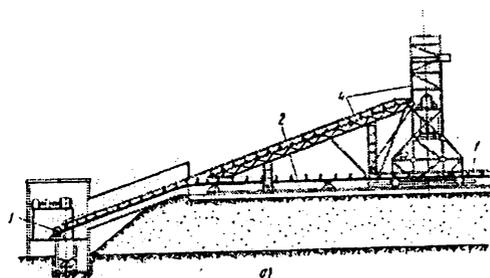


**Рисунок 2.1 – Устройство для приема заполнителей**

- 1-габарит подвижного состава,
- 2-железнодорожная платформа,
- 3-разгрузчик,
- 4-прирельсовый бункер,
- 5-пластинчатый питатель,
- 6-наклонный транспортер,
- 7-транспортер к складу

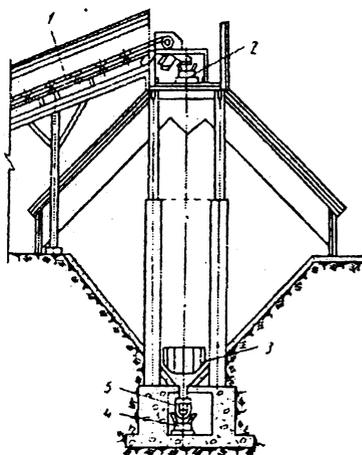
Заполнители, поступающие в открытых платформах и полувагонах, разгружают также грейферными кранами или специальными передвижными разгрузочно-штабелевочными машинами.

На рис. 2.2 показан штабельно-траншейный склад со штабелеукладчиком. Заполнители размещают штабелями 5 и 6 по обе стороны от транспортера. Штабелеукладчик 4, передвигаясь вдоль оси транспортера 1, подающего заполнители от приемного устройства, снимает с него материал и подает на поперечный катучий транспортер 3, распределяющий заполнители по площади склада. Вылет консолей штабелеукладчика в каждую сторону от оси 18 м, его производительность – до 300 м<sup>3</sup>/ч.



**Рисунок 2.2 – Склад заполнителей с двухконсольным штабелеукладчиком**

а) - вид сбоку, б) - разрез склада:  
 1-ленточный транспортер подачи на склад, 2-пути штабелеукладчика, 3-поперечный катучий транспортер, 4-штабелеукладчик, 5-самообрушающаяся часть штабеля, 6-несамообрушающаяся часть штабеля, 7-лотковый затвор, 8-траншейный ленточный транспортер



**Рисунок 2.3 – Эстакадно-траншейный полубункерный склад закрытого типа для заполнителей**

1-наклонный ленточный транспортер, 2-горизонтальный ленточный транспортер со сбрасывающей тележкой, 3-паровой регистр для обогрева материалов в зимнее время, 4-ленточный транспортер в траншее, 5-затвор на тече

Под штабелями склада заполнителей в туннеле устанавливают ленточные транспортеры 8, которые подают заполнитель в приемные бункера завода (БСУ) Боковые части 6 (мертвая зона штабеля) подают на транспортер через тежки с помощью бульдозера.

На рис. 2.3 показан эстакадно-траншейный полубункерный склад закрытого типа. Из приемного бункера по наклонному транспортеру 1 материал поступает на ленточный транспортер 2 горизонтальной эстакады вдоль склада, оттуда сбрасывается в соответствующие отсеки по длине склада. Склад разделен поперечными перегородками на отсеки для различных видов и фракций заполнителей. Образование емкости склада в виде полубункера достигается частичным или полным заглублением штабеля материалов ниже нулевой отметки при угле наклона боковых стенок не менее 50...60°. Для подогрева материалов в зимнее время склад оборудован паровым регистром 3.

Силосные склады заполнителей применяются реже из-за высокой их стоимости. Они, как и бункерные, используются в условиях ограниченных площадей для размещения бетонного хозяйства. Силосные склады в последнее время применяются в качестве инвентарных для передвижных бетонных заводов. Они состоят из многоугольных или круглых стальных или железобетонных банок диаметром до 5...10 м. Такие склады загружают вертикальным многоковшовым элеватором и распределительным (вверху) ленточным конвейером.

Для бетонных заводов небольшой мощности, притрассовых заводов в дорожном строительстве, приобъектных БСУ большое распространение получили мобильные склады заполнителей с доставкой материалов автомобильным транспортом.

Запас материалов на складах зависит от характера их доставки, от среднего состава бетонной смеси, темпов ее потребления и обычно составляет 7...10 суток для работы завода с поставкой исходных материалов железнодорожным транспортом и 5...7 суток - автотранспортом. Ориентировочно в расчетах вместимости складов заполнителей обычного(тяжелого) бетона на 1 м<sup>3</sup> требуется 0,45м<sup>3</sup> песка и 0,9 м<sup>3</sup> щебня (гравия). Вместимость склада может быть определена по формуле 2.1.

$$V = \frac{Pг \times \text{Щ}(П) \times \text{Зщ}(п) \times 1,04}{0,9 \times C} \quad 2.1$$

где: Pг – годовая производительность предприятия ( м<sup>3</sup>/год);

Щ(П) – усредненный расход щебня (песка ) на 1м<sup>3</sup> бетонной смеси;

Зщ(п) – запас щебня (песка );

1,04 – коэффициент возможных потерь материалов на погрузочно-разгрузочных и транспортных работах;

0,9 – коэффициент заполнения емкостей при хранении материалов;

C – количество рабочих дней в году.

Максимальная высота штабелей заполнителей во время их отсыпки с эстакад составляет 12м при угле естественного откоса 40°. При разгрузке заполнителей передвижной разгрузочной машиной и другими механизмами (ленточными конвейерами, грейферами, канатными скреперами и др.) высоту штабеля принимают 4...6 м.

Общую площадь склада заполнителей определяют из соотношения:

$$S_{\text{скл}} = S_{\text{п}} \times K_{\text{п}} \quad 2.2$$

где:  $S_{\text{п}}$  – полезная площадь склада, равная суммарной площади склада, равная суммарной площади всех штабелей,  $\text{м}^2$ ;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент увеличения площади склада для устройства проездов, проходов и т.п. ( $K_{\text{п}} = 1,4 \dots 1,5$ ).

Основной схемой подачи заполнителей от складов к бетоносмесительному отделению является конвейерная. Ленточные конвейеры располагают в подземных галереях под штабелем или под бункерами и далее транспортерами в наклонных, как правило, закрытых эстакадах. Загрузка заполнителей на ленточный транспортер производится из течек через затворы, лотки или вибролотки, при этом активная зона штабелей составляет около 40% их объема. Материал из мертвой зоны, неразгружающейся самотеком на подштабельный конвейер, перемещают бульдозерами, грейферными ковшами, погрузчиками и др.

В зимних условиях вследствие смерзания влажных заполнителей значительно повышается трудоемкость погрузочно-разгрузочных работ из-за выполнения операций по обеспечению сыпучести материалов. Смерзание практически не опасно для песка с влажностью не более 1,25% и для щебня (гравия) – до 2%. Однако обеспечить эти параметры при транспортировании в открытых вагонах и хранении в открытых штабелях практически невозможно.

Для восстановления сыпучести заполнителей в транспортных средствах применяются различные методы и, частности, обработка их растворами электролитов, разогрев вагонов в тепляках, размораживание паровыми иглами, механическое рыхление виброрыхлителями или бурофрезерными машинами.

Для обеспечения текучести материалов в штабелях складов применяют как механические, так и тепловые методы. Дробление заполнителей в штабелях осуществляют бульдозерами, грейферами, экскаваторами, клин-бабой и др. Однако механическое дробление приводит к измельчению щебня, не включает содержание в разрыхленном материале до 10...20% крупных комьев и глыб. Поэтому эти методы применяются для предварительной подготовки смерзшихся материалов.

Чаще на складах в зимнее время подогревают песок, а в некоторых случаях и крупный заполнитель. Наиболее распространен подогрев заполнителей с помощью паровых трубчатых регистров, уложенных в основании штабелей под течками. Известны способы размораживания материалов в штабелях продувкой горячего воздуха или дымовых газов с температурой 200...250°C.

Температура подогрева заполнителей колеблется в зависимости от вида и марки цемента, используемого для приготовления бетона, и должна быть не более 50°C для бетонов на обычном портландцементе.

### **2.3 Складирование цемента и тонкодисперсных добавок**

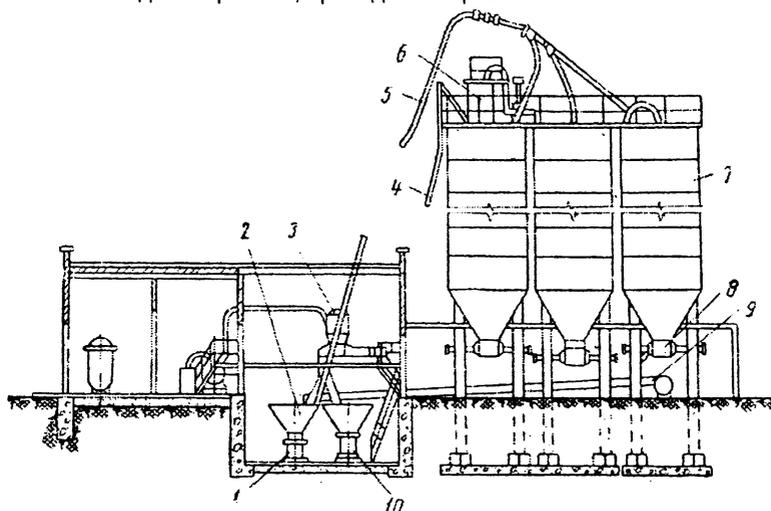
Цемент в отличие от других сыпучих материалов обладает рядом специфических свойств, существенно влияющих на технологию его транспортирования, хранения и погрузочно-разгрузочных работ. Он обладает высокой дисперсностью (3500...5000  $\text{см}^2/\text{г}$ ), быстро уплотняется при хранении, теряя подвижность; высокой гигроскопичностью, абразивностью, распрямляемостью и т.д. В связи с этим цемент на современных бетонных заводах, независимо от их мощности складировается в закрытых складах силосного типа, состоящих из однотипных силосов(банок) цилиндрической формы диаметром 5...10 м.

На небольших бетоносмесительных установках применяют инвентарные силосы емкостью 15 и 25 т, на бетонных заводах – силосы вместимостью от 100 до 1500 т каждый.

В зависимости от числа силосов в складе и принятой схемы механизации их располагают в один, два, а иногда и в три ряда.

Силосные склады всегда имеют значительную высоту, в связи с чем они оборудуются специальными приемными устройствами и механизмами для разгрузки цемента из транспортных средств и передачи его на склад, а также устройствами для передачи цемента со склада в расходные бункера бетонного завода.

Схема унифицированного типового склада цемента емкостью 750 т с комплексной механизацией и автоматизацией складских операций, состоящего из шести силосов диаметром 3м, приведена на рис.2.4.



**Рисунок 2.4 – Механизированный склад цемента емкостью 750 т**

- 1 – эрлифт, 2 – бункера приемных устройств, 3 – вакуум-разгрузчик цемента,  
 4 – соединительная труба, 5 – цементопровод, 6 – рукавный фильтр, 7 – силос,  
 8 – пневморазгрузчик донной выгрузки с дистанционным управлением,  
 9 – аэрожелоб, 10 – винтовой пневматический насос.

На складе предусмотрена возможность разгрузки цемента гравитационным способом из железнодорожных вагонов бункерного типа, вакуум-разгрузчиками из обычных крытых вагонов, а также пневматическим способом из вагонов-цементовозов и автоцементовозов с подачей цемента непосредственно в силосные банки.

При разгрузке в приемные устройства цемент поднимается эрлифтом 1 и далее распределяется при помощи аэрожелобов по силосам 7 или сразу подается в расходные бункера бетоносмесительной установки при помощи винтового пневмонасоса 10. Этим же насосом цемент подается из силосов склада на бетоносмесительную установку. Поступает цемент из силосов к пневмонасосу по наклонному аэрожелобу.

Для инвентарных и мобильных БСУ производительностью до 30...120 м<sup>3</sup>/ч применяются автоматизированные склады цемента, конструкция которых позволяет также быстро перебазировать их с одного строительного объекта на другой. Подача цемента осуществляется с помощью пневмонагнетательной системы, основным рабочим органом которой является камерный насос. Склад может состоять из одной-трех силосных банок емкостью по 25-45 т каждая.

Склад работает в трех режимах: 1) приемный бункер – расходный бункер бетоносмесительной установки; 2) приемный бункер – силосная банка; 3) силосная банка – расходный бункер бетоносмесительной установки. Переключение с одного режима на другой осуществляется автоматически при срабатывании указателей уровня цемента. Система автоматики позволяет оператору бетонного завода одновременно управлять работой бетоносмесительной установки и склада.

Для дорожного строительства созданы притрассовые склады цемента вместимостью 240...270 т. Они также инвентарные и приспособлены для загрузки цементом из автоцементовозов. Загрузка и выгрузка цемента из транспорта осуществляется пневматическим способом, основанном на принципе аэрации при перемещении взвешенных частиц материала движущимся потоком воздуха.

Для подачи цемента от силосов к расходным бункерам бетоносмесительного отделения обычно применяют пневмовинтовые, струйные или камерные насосы.

Силосные склады цемента подразделяют на механизированные и автоматизированные. В состав автоматизированного склада входят: приемный бункер, силосная банка, фильтр, камерный насос или винтовой разгрузчик, распределительное устройство, цементопроводы, исполнительный механизм, системы влаго- и маслоочистки сжатого воздуха и автоматического управления.

#### **2.4 Склады и оборудование для приготовления химических добавок**

Применение химических добавок в бетоны существенно влияет на технологию приготовления бетонных смесей, производство монолитных бетонных работ и методы выдержки бетона в опалубке.

Складирование, технология приготовления и оборудование бетонных заводов определяется большим разнообразием применяемых химических добавок. Добавки, поступающие в бочках или мешках, хранят в хорошо вентилируемых сухих помещениях закрытого типа, предусматривая возможность механизации складирования и производства погрузочно-разгрузочных работ.

Запас добавок на складе определяется расстоянием их доставки, количеством одновременного использования их и, как правило, должен быть не менее месячной работы бетонного хозяйства.

При складах добавок должно быть отделение по приготовлению рабочих растворов необходимых концентраций, подаче их в расходные емкости при автоматическом контроле и регулировании температуры и плотности растворов.

Для приготовления рабочих растворов жидких и легко растворимых порошкообразных и пастообразных добавок их подают вместе с водой в лопастной смеситель (15...20 оборотов в мин) или в специальный бак с пропеллерной мешалкой. Для улучшения растворения добавок применяют теплую воду (в зависимости от вида добавок) или подогревают растворы в смесительных емкостях.

Разнообразие рецептур добавок и технологических схем их приготовления не позволяет проектировать типовое технологическое оборудование. Как правило, отсутствие специального оборудования на каждом предприятии их комплектуют по индивидуальным проектам, что является одной из причин ограничения массового применения химических добавок в технологии бетонных работ.

## **2.5 Бетоносмесительное оборудование**

Основным механизмом бетоносмесительных заводов и установок являются смесители. По режиму работы бетоносмесители бывают циклического и непрерывного действия. В бетоносмесителях циклического действия перемешиваемый материал загружают порциями, причем каждая новая порция может быть загружена в барабан (чашу) лишь после выгрузки из него предыдущего готового замеса. В бетоносмесителях непрерывного действия загрузка материалов и выгрузка готовой бетонной смеси происходит непрерывно.

По принципу перемешивания бетоносмесители делятся на гравитационные (со свободным падением материалов) и с принудительным перемешиванием компонентов. В гравитационных смесителях компоненты смеси помещаются во вращающийся барабан (форма его может быть различной). Находящиеся в барабане материалы прижимаются к его стенкам центробежной силой, поднимаются вверх, затем под действием силы тяжести падает, сталкиваясь с находящейся внизу основной массой, частично внедряясь в нее, при этом перемешивается.

В бетоносмесителях с принудительным перемешиванием циклического действия материалы перемешиваются либо при одновременном вращении в противоположном направлении чаши и лопастей (протivotочные бетоносмесители), либо при вращении лопастей в неподвижной чаше (турбинные бетоносмесители).

В бетоносмесителях с принудительным перемешиванием непрерывного действия материал перемешивается при одновременном встречном вращении двух параллельных валов с лопастями специальной конструкции.

В настоящее время идет поиск повышения эффективности процесса перемешивания, а, следовательно, и повышения качества бетона. В частности, наряду с традиционными способами внедряют, например, вибрационное, струйное, безвибрационное с гибкой чашей, раздельное и т.д. перемешивание компонентов бетонной смеси. В частности, виброперемешивание заключается в воздействии на смесь вибрационных импульсов, которые снижают силы сцепления и внутреннего трения между частицами материалов. При этом сокращается время перемешивания, повышается однородность смеси, происходит ее активация, интенсифицируются процессы адсорбционного и химического диспергирования.

Турбулентное и струйное перемешивание также приводит к активации смеси, повышению технологических параметров смеси и физико-механических свойств бетона.

На качество бетона также влияет и порядок загрузки в бетоносмеситель составляющих бетонной смеси. Как правило, первоначально подают в смеситель 15...20% воды, требуемой для замеса, далее во избежание комкования цемента при контакте его с водой цемент подают вместе с песком, затем загружают в смеситель крупный заполнитель и добавляют оставшуюся часть воды.

Особое внимание на порядок загрузки составляющих смеси необходимо обращать при использовании в зимних условиях горячей воды. В этом случае цемент лучше подавать после загрузки в смеситель воды и заполнителей. Холодные заполнители быстро понижают температуру смеси, предотвращая ее схватывание, «заваривание» цемента из-за контакта его с горячей водой.

По исполнению бетоносмесители бывают стационарные и передвижные.

Стационарные бетоносмесители применяют при оборудовании заводов и БСУ, рассчитанных на длительную эксплуатацию.

Передвижные бетоносмесители используют для приготовления бетонной смеси на строительных площадках, находящихся вне радиуса действия бетонного завода, а иногда их эксплуатируют как стационарные на объектах бетоносмесительных установках.

Европейским стандартом по строительному оборудованию в основу классификации циклических смесительных машин положен конструктивный признак самого смесителя, а именно: форма корпуса и расположение валов. По этому признаку смесители классифицируются на гравитационные (барабанные); принудительного действия тарельчатые с вертикально расположенными смесительными валами и принудительного действия - лотковые с горизонтально расположенными смесительными валами.

Годовая производительность, приходящаяся на 1л полезного объема смесителя, составляет для малых моделей (менее 500-750л) - 3,5 м<sup>3</sup>/л; для больших - 10 м<sup>3</sup>/л.

Трудоемкость производства 1 м<sup>3</sup> смеси на малых моделях смесителей равна 2,5...3 чел-ч/м<sup>3</sup>, на больших ...1-1,5 чел-ч/м<sup>3</sup>.

Часовую производительность бетоносмесителя, работающего по циклическому принципу, определяют по формуле:

$$P_{ц.с.} = \frac{V_{б} * K'_{в} * n_{з}}{1000}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad 2.3$$

где:  $V_{б}$  - вместимость бетоносмесителя, л;

$K'_{в}$  - коэффициент выхода бетона;

$n_{з}$  - количество замесов в 1 ч.

Количество замесов определяют по формуле:

$$n_{з} = \frac{60}{t_{ц}}, \quad 2.4$$

где:  $t_{ц}$  - продолжительность цикла приготовления бетонной смеси, мин

$$t_{ц} = t_{з} + t_{п} + t_{в}, \quad 2.5$$

где:  $t_{з}$  - время загрузки смесителя,  $t_{п}$  - заданная длительность перемешивания,  $t_{в}$  - время выгрузки (табл.2.2 и 2.3).

коэффициент выхода бетона для тяжелых бетонов принимается в среднем 0,67; для бетонов на легких заполнителях - 0,75 и для ячеистых бетонов - 0,80.

В настоящее время появились оригинальные конструкции смесителей для приготовления вязкопластичных бетонных смесей (табл.2.1). Наилучшими показателями обладают лотковые двухвальные смесители, позволяющие готовить смеси с относительно низким В/Ц при наибольшей крупности заполнителей 100-180 мм, наименьшей продолжительности смешивания и выгрузки готовой смеси. Энергоемкость их ниже тарельчатых; но выше, чем гравитационных смесителей.

**Таблица 2.1 – Технические характеристики смесителей принудительного действия с горизонтально расположенными смесительными винтами (лоткового типа)**

Показатель	СО-46А	СО-26Б	СО-23Б	СБ-97
Объем готового замеса, л.	65	65	65	250
Вместимость по загрузке, л.	80	80	110	325
Частота вращения рабочего органа, об/мин.	32	36	79,8	31
Мощность двигателя, кВт.	1,5	2,2*	1,5	5,5
Габаритные размеры, м.	1,52x0,66x x1,13	1,82x0,66x x1,16	1,43x x0,7x x0,98	1,84x2,13x x2,2
Масса, кг.	210	260	187	1230

Примечание: \* - двигатель внутреннего сгорания.

**Таблица 2.2 – Наименьшая продолжительность в сек. смешивания бетонной смеси на плотных заполнителях.**

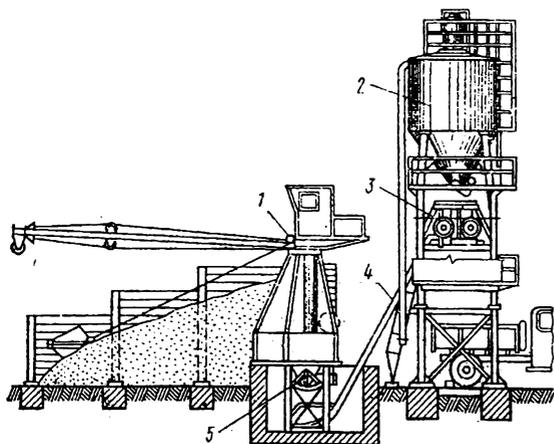
Объем готового замеса бетонной смеси, л.	В гравитационных смесителях при подвижности бетонной смеси, (ОК), см		В смесителях принудительного действия
	3 - 8	Более 8	
500 и менее	75	60	50
более 500	120	90	50

**Таблица 2.3 – Наименьшая продолжительность в сек. смешивания бетонной смеси на пористых заполнителях в смесителях принудительного действия**

Объем готового замеса бетонной смеси, л.	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>			
	Более 1700	1400-1700	1000-1400	1000 и менее
500 и менее	105	120	150	180
500-1000	120	150	180	210
более 1000	150	180	210	240

Для обеспечения бетонной смесью мелких рассредоточенных объектов также используют передвижные или инвентарные БСУ. Передвижные бетоно-смесительные установки монтируют на трейлерах, прицепах или железнодорожных платформах и устанавливают непосредственно у места бетонирования. Приготовленную бетонную смесь подают непосредственно в опалубку транспортерами, бетононасосами или с помощью кранов. Производительность передвижных бетоносмесительных установок от 5 до 15 м<sup>3</sup>/ч.

Инвентарную бетоносмесительную установку (рис. 2.5) собирают из отдельных блоков, а после окончания работ на данном строительном участке ее демонтируют и перевозят на новое место.



**Рисунок 2.5 – Схема инвентарной бетоносмесительной установки:**

- 1 – стреловой скрепер;
- 2 – бункер для цемента;
- 3 – смеситель;
- 4 – скиповый подъемник;
- 5 – дозатор заполнителей

## **2.6. Дозирование составляющих бетонной смеси**

Дозирование составляющих бетонной смеси заключается в отмеривании их количества при загрузке в смеситель для обеспечения проектного состава бетона.

Дозирование плотных заполнителей и цемента выполняют весовыми дозаторами. Пористые заполнители, которые, как правило, отличаются непостоянством их плотности, дозируют объемным или объемно-весовым способом с корректированием массы.

Погрешность дозирования на отечественных бетонных заводах должна быть для цемента, добавок и воды не более 1%, для песка и крупного заполнителя – не более 2%; на приобъектных БСУ и установках: для цемента, воды и добавок – не более 2% и заполнителей – не более 2,5%.

Дозаторы классифицируют по характеру работы, по принципу действия и способу управления.

По характеру работы они бывают циклические и непрерывного действия. При циклической работе доза материала отмеривается в мерном бункере (по объему или массе) и выгружается в смеситель, далее цикл повторяется. В дозаторах непрерывного действия материал отмеривается (по объему или массе) непрерывно равномерным потоком.

По принципу действия дозаторы бывают объемные, весовые и смешанные (объемно-весовые). Объемными дозаторами дозируют, как правило, жидкости, плотность которых при постоянной температуре изменяется незначительно. В последнее время для объемного дозирования воды наиболее широко применяются водомерные баки сифонного действия и дозаторы турбинного типа (счетчик-водомер). Дозатор представляет собой отрезок трубы, внутри которого под действием потока воды вращается турбинка (крыльчатка).

### 3. ОПАЛУБОЧНЫЕ РАБОТЫ

#### 3.1 Общие сведения

Опалубкой называют несущие, поддерживающие и формообразующие элементы из различных материалов и разной конструкции, которые после установки в рабочее положение образуют форму для укладки бетонной смеси, соответствующую конфигурации и размерам конструкции. Эти конструкции изготавливают непосредственно на месте их размещения в зданиях и сооружениях, на строительной площадке в отличие от форм, применяемых для изготовления сборных железобетонных изделий на заводах и полигонах.

Опалубочные работы в общем комплексе процессов при бетонировании монолитных конструкций отличаются большой трудоемкостью ввиду пока значительных затрат ручного труда, отсутствия необходимого количества надежной многооборотчиваемой инвентарной опалубки, низкой степени унификации монолитных конструкций. Так, трудоемкость опалубочных работ в общем комплексе бетонных работ в среднем составляет 35–40% и стоимость – до 25%.

Опалубка должна быть прочной, жесткой, герметичной и устойчивой, обеспечить точность размеров монолитных конструкций, возможность укрупнения и переналадки, быструю и простую сборку и разборку, требуемое качество поверхности. Она не должна затруднять установку арматуры, укладку и уплотнение бетонной смеси. Точность изготовления опалубки должна быть на один-два класса выше точности выполнения конструкции. Большинство конструкций опалубки изготавливают по седьмому классу точности. Универсальные системы опалубки, рассчитанные на длительный срок эксплуатации, высокий темп оборачиваемости и применения в разных условиях, должны выполняться по более высокому классу точности.

Различают опалубку инвентарную-многооборотчиваемую и стационарную – разового применения. Инвентарная опалубка, как правило, состоит из комплекта унифицированных элементов, позволяющих компоновать опалубочные формы для разнотипных конструкций. Она должна обеспечивать многократное применение формы, характеризуемое нормативной оборачиваемостью с сохранением ее качества. Показатель оборачиваемости опалубки из металла может достигать до 400, из фанеры - до 80 и древесины – до 40 раз.

Допустимый прогиб элементов опалубки должен составлять не более  $L/200$  - для скрытых поверхностей конструкций и не более  $L/400$  - для открытых ( $L$  - свободный пролет элемента).

В качестве материала для изготовления опалубки применяют металл, древесные материалы, армобетон и синтетические материалы. Комбинированные конструкции опалубки являются наиболее эффективными, они позволяют в наибольшей степени использовать физические характеристики материалов. Так, поддерживающие и несущие элементы делают чаще из металла. Это обеспечивает высокую оборачиваемость опалубки при небольшом расходе материала. Для формирующей палубы используются древесные материалы, пластик и др.

Из металлов в основном применяются сталь и алюминиевые сплавы в виде прокатных или гнутых профилей. Сталь должна иметь марку не ниже ВСт3, для штырей, петель и других крепежных элементов используется ВСт3пс или сталь 20.

Для изготовления опалубки применяют пиломатериалы из хвойных и лиственных пород не ниже второго сорта, фанеру, древесноволокнистые и

древесностружечные плиты, а также клеедеревянные конструкции. Поддерживающие элементы опалубки делают из хвойных пород с влажностью древесины не более 15%, другие конструктивные элементы – из древесины с влажностью до 25%. Древесностружечные и древесноволокнистые плиты используют для удобства палубы, они должны быть гидрофобны с защитой торцов плит герметиком.

Клееные деревянные конструкции используют для изготовления различных элементов опалубки. Применение фанеры наиболее эффективно при устройстве палубы. Материал должен быть водостойким, а рабочая поверхность должна иметь защитное покрытие на основе полимерных материалов (бумажнослоистый пластик и др.), торцы фанеры также защищены водостойкими герметиками. Из полимерных материалов для устройства палубы применяют в основном стеклотекстолит, стеклопластик, полиэфирный плоский стеклопластик, гетинакс и винипласт. Листовой материал может использоваться в качестве несъемной опалубки – облицовки или изоляции. Наименьшей адгезией к бетону обладают гетинакс и текстолит.

Армированный бетон применяется для изготовления несъемной опалубки. В качестве исходных материалов используют армоцемент и металлические сетки из проволоки диаметром 0,8 – 1,2 мм или сварные сетки из арматуры диаметром 6 – 8 мм, железобетон с арматурным каркасом, стеклоцемент с ровингом (жгутом) из стеклянных щелочестойких нитей, фибробетон с армирующими элементами (фибрами) из стальной проволоки диаметром 0,8 – 1,2 мм или сварные сетки из арматуры диаметром 6...8 мм.

Для устройства пневматической (надувной) опалубки используют тканевый материал (в основном различные виды капроновой ткани толщиной 0,6-1,3 мм).

Для уменьшения сцепления бетона с соприкасающейся поверхностью опалубки применяют различные виды смазок, которые делятся на пленкообразующие, гидрофобизирующие, замедлители схватывания цемента и комбинированные.

### **3.2 Классификация и область применения опалубки**

Опалубку классифицируют по функциональному назначению в зависимости от типа бетонируемых конструкций. В этих случаях различают опалубку для вертикальных поверхностей (в том числе стен), для горизонтальных и наклонных поверхностей, для образования криволинейных поверхностей, для одновременного бетонирования стен и перекрытий, комнат и целых квартир.

По конструктивным признакам опалубка подразделяется на: разборно-переставную, (мелко- и крупнощитовую), подъемно-переставную, блочную, объемно – переставную, скользящую, горизонтально – переставную (катучую и туннельную), пневматическую, несъемную и греющую. Краткая характеристика и области применения различных типов опалубки приведены в табл. 3.1.

### **3.3 Проверочный расчет опалубки**

Опалубку, поддерживающие ее леса и крепления рассчитывают на вертикальные и горизонтальные нагрузки, согласно требованию действующих нормативов на опалубку.

При выборе инвентарной опалубки проверочный расчет ее выполняют по критериям прочности, жесткости и на опрокидывание для разрабатываемого варианта бетонирования, приводят эскизы расчетной схемы опалубки и свободного пролета опалубки.

**Таблица 3.1 – Классификация и области применения различных типов опалубки**

№ пп	Тип опалубки	Характеристика	Область применения
1	2	3	4
1	Мелкощитовая	Состоит из элементов массой до 50кг, в том числе щитов, поддерживающих и крепежных элементов. Возможна укрупнительная сборка.	Бетонирование различных конструкций, в том числе с вертикальными, горизонтальными и наклонными поверхностями различного очертания
2	Крупнощитовая	Состоит из крупноразмерных щитов, конструктивно связанных с поддерживающими элементами соединения и крепления. Щиты оборудуются подмостями для бетонирования, регулировочными и установочными домкратами.	Бетонирование крупноразмерных и массивных конструкций, в том числе стен и перекрытий
3	Подъемно-переставная	Состоит из щитов, отделяемых от бетонируемой поверхности при перемещении поддерживающих и крепежных элементов, рабочего пола, приспособлений для подъема.	Бетонирование конструкций и сооружений преимущественно переменного сечения типа дымовых труб, градирен, силосных сооружений, опор мостов и др.
4	Блочная	Состоит из крупных пространственных блоков.	Бетонирование замкнутых отдельностоящих конструкций типа ростверков, фундаментов, а также внутренней поверхности замкнутых ячеек жилых зданий и лифтовых шахт.
5	Блочная неразъемная	Неразъемные блоки, выполненные с конусностью 1/10 высоты. Общая площадь 6-10м <sup>2</sup> . Для отрыва от бетона применяются приспособления типа домкратов.	Бетонирование однотипных конструкций небольшого объема с распалубкой в раннем возрасте.
6	Блочная разъемная	Перед демонтажем поверхности опалубки отделяются и отводятся от поверхности бетона. Общая площадь 10-40 м <sup>2</sup> .	Бетонирование однотипных конструкций достаточно большого объема.
7	Блочная переналаживаемая	Допускает изменение размеров в плане и по высоте. Общая площадь 10 - 40 м <sup>2</sup> .	Бетонирование разнотипных монолитных конструкций.
8	Объемно-переставная	Состоит из блоков, которые при установке в рабочее положение образуют в поперечном сечении опалубку П-образной формы.	Бетонирование стен и перекрытий жилых и гражданских зданий.

продолжение табл. 3.1.

9	Скользкая	Состоит из щитов, рабочего пола, домкратов, закрепленных на домкратных рамах, приводных станций и прочих элементов (подвесных подмостей, домкратных рам, стержней и др.). Опалубка поднимается домкратами по мере бетонирования. Щиты, как правило, закрепляются на домкратных рамах с уширением к низу (конусность 1/200 – 1/500 высоты щитов или 5-7 мм на каждую сторону).	Возведение вертикальных конструкций зданий и сооружений преимущественно постоянного сечения высотой более 40 м и толщиной не менее 12 см.
10	Горизонтально-перемещаемая (катучая)	Состоит из каркаса и закрепленных на нем опалубочных щитов. Перемещается вдоль возводимого сооружения на тележках или других приспособлениях.	Бетонирование подпорных стен, водоводов, коллекторов, и туннелей, возводимых открытым способом.
11	Туннельная	Состоит из формирующих и поддерживающих секций, перемещается с помощью специальных механизмов с механическим, гидравлическим и другим приводом.	Бетонирование монолитной обделки туннелей, возводимых закрытым способом.
12	Пневматическая	Состоит из гибкой воздухоопорной оболочки или пневматических поддерживающих элементов с формообразующей оболочкой. В рабочем положении поддерживается избыточным давлением воздуха.	Возведение конструкций и сооружений криволинейного очертания.
13	Несъемная	Состоит из плит, остающихся после бетонирования в конструкции, и инвентарных поддерживающих элементов.	Возведение конструкций без распалубливания, создание гидроизоляции, облицовки, утепления и др.
14	Греющая	Любая опалубка, оборудованная нагревательными элементами, оснащенная системами контроля и регулирования режимов обогрева.	Бетонирование конструкций в зимних условиях строительства, а также для ускорения твердения бетона, в том числе в летних условиях.
15	Утепленная	Опалубка с установленным утеплителем.	Предохранение бетона от замерзания в зимних условиях, от перегрева в условиях жаркого климата, охлаждения и перегрева в специальных условиях.

При выборе опалубки важно знать, является ли она комплексной системой, то есть можно ли из одних и тех же модулей создать как вертикальные, так и горизонтальные конструкции различных форм и размеров. До сих пор не удалось найти альтернативу обшивке (палубе) из многослойной фанеры, поэтому уделяется особое внимание тому, чтобы несущая конструкция (каркас) обеспечивала минимальные напряжения в фанере на кручение и изгиб, защищала ее от влаги и предохраняла от механических напряжений.

На отечественном рынке опалубочные системы представлены отечественными и зарубежными фирмами, имеющими различный опыт. Элементы опалубки и ее крепежа постоянно совершенствуются, разрабатываются новые конструктивные решения с учетом применения современных материалов.

Опалубочные системы – это сложные конструкции, которые требуют технического сопровождения, предоставления программного обеспечения, а также обучения персонала для работы с ними.

При выборе опалубочных систем необходимо обращать внимание на ряд критериев.

Во-первых, это комплексность системы. Широкая номенклатура изделий, входящих в такую систему, позволяет создавать конструкции различных форм и размеров (горизонтальных и вертикальных), начиная с мелких сооружений и вплоть, например, до комплексов электростанций.

Во-вторых, это продуманность замков и всех элементов крепления. Крепежные элементы должны обеспечить быстрое и безопасное соединение элементов опалубки в горизонтальных и вертикальных конструкциях. От них во многом зависит качество поверхности стены, перекрытия, колонны и т.п.

В-третьих, это наличие программного обеспечения, которое позволяет планировать последовательность опалубочных работ, рассчитать необходимое количество транспортных единиц, составить точные спецификации элементов опалубки и смету затрат.

В-четвертых, это возможность аренды (в т.ч. лизинга). Многие ведущие фирмы сдают в аренду опалубку или какие-то их элементы. Это позволяет испытать новые системы или их части перед применением.

В-пятых, это предоставление технического сопровождения и возможность обучения персонала.

Сборно-разборные опалубки многократного применения в зависимости от назначения должны отвечать требованиям по допустимым нагрузкам конструктивной прочности, надежности и долговечности, иметь высокие механические свойства.

Материал, применяемый для изготовления опалубки, существенно влияет как на технические характеристики, так и на стоимость. В основном это оцинкованная или гальванизированная сталь с порошковым покрытием, которое не только защищает сталь от коррозии, но и обеспечивает быструю очистку опалубки в процессе эксплуатации. Кроме стали для изготовления опалубочных систем применяют сплав алюминия и кремния (для повышения прочностных характеристик). Этот металл является более легким, но менее коррозиестойким. Поэтому для алюминиевых элементов необходима дополнительная специальная антикоррозионная защита. Применение принципа экструзии для их производства позволяет добиться необходимой жесткости конструкции. Алюминиевая опалубка легче стальной в три раза, что существенно уменьшает стоимость и трудоемкость транспорта и монтажа.

Для устройства палубы щитовой опалубки применяются следующие виды фанеры.

1. Ламинированная фанера ( Fin-ply) – это крестообразно проклеенные березовые слои, усиленное фенольно-смоляное покрытие плотностью по 240 г/м<sup>2</sup> на каждой стороне. Толщина листов фанеры – 21/18/15/12/9 мм. Плотность 6,65/8,80/10,75/12/70/14,25 кг/м<sup>2</sup>. Размер – 1,5х3,00/1,25х2,50/1,50х4,00 м. Оборачиваемость такой фанеры -30...70 оборотов.

2. Ламинированная фанера (Fin-ply Maxi) представляет собой фанеру для облицовочного бетона с высококачественной бесшовной поверхностью. Состоит из 15 перекрестно проклеенных березовых слоев, двухсторонним усиленным фенольно-смоляным покрытием по 400/400 г/м<sup>2</sup> (размер-7,5х2,7 м) или 400/240 г/м<sup>2</sup>. Края листов покрыты лаком. Толщина листов – 20мм, плотность материала – 14,25 кг/м<sup>2</sup>.

3. Ламинированная фанера PERI Birch. Это 15-слойная с двухсторонним покрытием из фенольной смолы плотностью 120 г/м<sup>2</sup>. Толщина 21 мм, плотность – 14,25 кг/м<sup>2</sup>, размер листов – 1,25х2,5 м. Оборачиваемость палубы из этой фанеры – 20...50 оборотов.

4. Ламинированная фанера PERI Beto и Beto S. Это финская фанера типа Combi Mirgor. Одиннадцатислойная структура, облицовочные слои из березы, двухслойное фенольное покрытие плотностью 120 г/м<sup>2</sup>. Толщина листов фанеры 21мм, плотность – 11,9 кг/м<sup>2</sup>, размеры листов – 0,62х2,5; 1,25х2,5; 1,5х3,0м.

5. Ламинированная фанера PERI Spruce. Это экономичная фанера для бетонирования перекрытий. Она имеет небольшой вес при высокой прочности. Выполнена из 11слоев из северных хвойных пород, с двух сторон имеет фенольное покрытие плотностью 120 г/м<sup>2</sup>, толщина листов – 21мм, размер – 0,5х2,5 и 1,25х2,5м.

6. Трехслойные (желтые) плиты. Это крупногабаритные плиты с двухслойным покрытием из меламиновой смолы, края плит покрыты лаком, выполнены из трех крестообразно проклеенных семимиллиметровых слоев ели. Внутренний слой по желанию заказчика может быть выполнен из тонких реек. Толщина плит- 21мм, плотность – 10,5 кг/м<sup>2</sup>. Размер листов – 0,5х2,0...2,0х5,0м.

7. Фанера из опилок FinNa-ply. Финская фанера из хвойных пород, 7-слойная, поверхность отшлифована, одна сторона гладкая. Толщина листов- 21мм, плотность – 10,0 кг/м<sup>2</sup>, размер листов – 1,0х2,0...2,0х2,5м. Эта фанера формирует поверхность бетона «под дерево».

При выборе инвентарной опалубки проверочный расчет ее выполняют по критериям прочности, жесткости и на опрокидывание для разрабатываемого варианта бетонирования, приводят эскизы расчетной схемы опалубки и свободного пролета опалубки.

Максимальное удельное боковое давление бетонной смеси на опалубку определяется по формуле:

$$P_{\text{МАКС}}^{\text{уд}} = K_P * \rho_{\text{Б.С.}} * g * h_{\text{МАКС}} * b_{\text{МАКС}}, \text{ Па}, \quad 3.1$$

где:  $\rho_{\text{Б.С.}} \cdot g$  - удельная сила тяжести (Н/м<sup>3</sup>) бетонной смеси средней плотно-

сти  $\rho_{\text{Б.С}}$  при  $g = 9,80665$ . Значения  $\rho_{\text{Б.С}}$  соответствуют нормативным:

тяжелый бетон – 2400 кг/м<sup>3</sup>, легкий – 1800 кг/м<sup>3</sup>, и т.д., если фактические ее значения не превышают нормативного показателя;

$b_{\text{МАКС}}$  - наибольшая ширина укладываемого слоя бетона на расчетном участке опалубки, м;

$h_{\text{МАКС}}$  - расчетная высота слоя несхватившегося бетона, обладающего подвижностью и оказывающего боковое давление на опалубку:

$$h_{\text{МАКС}} = \tau_{\text{СХ}} * V_{\text{БЕТ}}, \text{ м}, \quad 3.2$$

где:  $\tau_{\text{СХ}}$  - время схватывания бетонной смеси применяемого состава, ч;  $V_{\text{БЕТ}}$  - скорость бетонирования, т.е. скорость укладки смеси относительно высоты бетонируемой конструкции, м/ч;

В случае, если  $h$  больше, чем заданная высота опалубки  $h_{\text{ОП}}$ , далее используют  $h_{\text{МАКС}} = h_{\text{ОП}}$ ;

$K_p$  - коэффициент бокового давления (распора) бетонной смеси на опалубку.

Для литой бетонной смеси, т.е. при максимальной величине бокового давления,  $K_p$  принимается согласно табл. 3.2.

**Таблица 3.2 – Значения коэффициента бокового давления бетонной смеси на опалубку**

Значения $h_{\text{МАКС}}$ , м		0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8
$K_p$	Тяжелый бетон	0,99	0,98	0,97	0,93	0,86	0,76	0,64
	Керамзитобетон	0,98	0,965	0,95	0,91	0,84	0,73	0,60

Расчет величины свободного пролета палубы по критерию прочности выполняется по формуле:

$$l_p = 1.3 * b_n * \sqrt{\frac{R}{P_{\text{МАХ}}}}, \text{ см}, \quad 3.3$$

где  $b_n$  - толщина палубы (лицевой стенки опалубки), см;

$R$  - нормативное сопротивление материала, из которого выполнена палуба опалубки (таблица 3.3).

**Таблица 3.3 – Значения расчетных параметров материала опалубки**

Вид материала палубы	Ст 3	Доска сосновая (ель)	Фанера		Стеклоцемент	
			рядовая	высокопрочная		
Значение $R$ , МПа	210	18	22	50	10	
Значение $b_n$ , см.	0,2	1,6	1,0	1,0	1,2	
	0,3	1,9	1,2	1,2	1,5	
	0,4	2,5	1,6	1,6	1,6	1,8
		3,2	1,8	1,8	1,8	2,0
	4,0	1,9	1,9	1,9	-	
	Модуль упругости $E$ , МПа	21*10 <sup>4</sup>	1*10 <sup>4</sup>	0,85*10 <sup>4</sup>	1,5*10 <sup>4</sup>	-

Расчет величины свободного пролета палубы по критерию жесткости (допустимому прогибу) выполняется по формулам:

$$l_p = 1.3 * b_n * \sqrt{\frac{R}{P_{MAX}^{уд}}}, \text{ см}, \quad 3.4$$

$$l_{ж} = 1.71 * b_n * \sqrt[3]{\frac{E}{P_{MAX}^{уд}}} * 400, \text{ см}, \quad 3.5$$

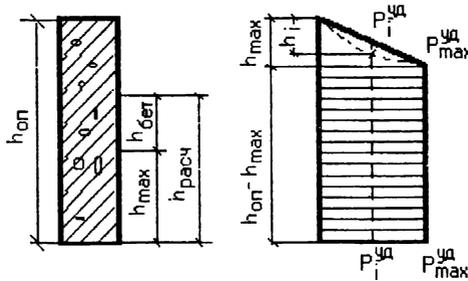
где: E – модуль упругости (МПа) материала палубы; 200, 400 – показатель прогиба.

Выбор межосевого расстояния между ребрами жесткости палубы выполняется в следующей последовательности. Составляют расчетные значения  $l_p$  и  $l_{ж}$  и принимают меньшее из полученных значений  $l$ .

где:  $l_p$  - фактическое расстояние между ребрами жесткости щитов опалубки,  $l_{ж}$  - соответственно расчетное расстояние.

Приводят эскиз принятого размещения ребер жесткости палубы с указанием расстояний свободного пролета.

Расчет опалубки на устойчивость (опрокидывание) осуществляется в следующем порядке. Определяется расчетная схема элемента опалубки при  $h_{max} < h_{оп}$  (рис. 3.1).



**Рисунок 3.1 – Расчетная схема опалубки при  $h_{max} < h_{оп}$ .**

Расчетное усилие опрокидывания в данном варианте определяется по формуле:

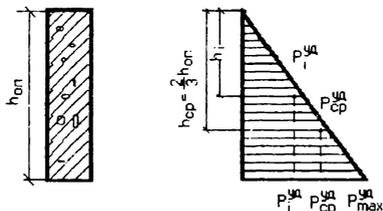
$$N_{PACЧ} = P_{MAX}^{уд} * b_{ЗАХ} * h_{PACЧ} * H \quad 3.6$$

где:  $b_{зах}$  - ширина ( м) опалубки (участка), для которой выполняется расчет;  
 $h_{расч}$  - наибольшая расчетная высота слоя бетонной смеси, обладающей подвижностью (боковым давлением); м.

$$h_{PACЧ} = h_{MAX} + h_{БЕТ} * H, \quad 3.7$$

при  $h_{бет}$  - равной высоте слоя при послойной укладке смеси, м.

Расчетная схема элемента опалубки при  $h_{max} \geq h_{оп}$  приведена на рис.3.2.



**Рисунок 3.2 – Расчетная схема элемента опалубки при  $h_{\text{макс}} \geq h_{\text{оп}}$**

Расчетное усилие опрокидывания в приведенном варианте рассчитывается по формуле (3.8)

$$N_{\text{расч}} = P_{\text{ср}}^{\text{уд}} * b_{\text{зак}} * h_{\text{оп}}, \text{Н} \quad 3.8$$

где  $P_{\text{ср}}^{\text{уд}}$  - среднее расчетное удельное давление бетонной смеси на опалубку.

Удельное давление бетонной смеси в  $i$ -ой точке высоты опалубки равно:

$$P_{\text{ср}}^{\text{уд}} = K_{\text{пр}} * \rho_{\text{б.с.}} * g * h_i * b_{\text{макс}}, \text{Па}, \quad 3.9$$

Из зависимости (3.9) среднее по высоте  $h_{\text{оп}}$  удельное давление будет равно:

$$P_{\text{ср}}^{\text{уд}} = K_{\text{р.ср.}} * \rho_{\text{б.с.}} * g * h_{\text{ср}} * b_{\text{макс}}, \text{Па}, \quad 3.10$$

$$P_{\text{ср}}^{\text{уд}} = K_{\text{р.ср.}} * \rho_{\text{б.с.}} * g * h_{\text{ср}} * b_{\text{макс}}, \text{Па}, \quad 3.11$$

где:  $K_{\text{р}}$  - коэффициент бокового давления для  $h_{\text{ср}}$  (табл. 3.2);

$h_{\text{ср}}$  - высота приложения  $P_{\text{ср}}^{\text{уд}}$  соответствует  $h_{\text{ср}} = (2/3)h_{\text{оп}}$ , м.

Полученные данные позволяют определить усилия в деталях крепежа опалубки, (например, в замковых соединениях, раскосах, стяжках и пр.) рассчитать их количество, сечение силовых (несущих) элементов.

### **3.4. Конструкции опалубки**

#### **3.4.1. Мелкощитовая опалубка**

Этот наиболее распространенный тип опалубки универсального назначения применяется для бетонирования самых различных конструкций. Опалубка состоит из отдельных элементов, массой, не превышающей 50 кг, что позволяет собирать и разбирать их при необходимости вручную. Опалубка включает щиты, поддерживающие элементы, элементы крепления и соединения. Существует множество конструктивных исполнений отдельных элементов.

Размер щитов опалубки отечественной конструкции принимается, как правило, кратным по длине 300 мм, по ширине 100 мм, что позволяет при большом числе вариантов сборки опалубки по размерам значительно снизить их число и тем самым трудоемкость опалубочных работ. Предпочтительны следующие размеры щитов: длина - 900, 1200, 1500, 1800, 2500, 2700 мм; ширина - 100, 200, 300, 400, 500, 600 мм. Использование таких щитов позволяет собирать без применения доборов опалубку для конструкций с модулем 100 мм.

Существует много отечественных и зарубежных фирм, занимающихся разработкой, производством и обслуживанием опалубочных систем. Наиболее

известны из них "Монолит" (ЦНИИОМТП Госстроя СССР), "Модостр" «Модостр-Комби». «Каскад» (Беларусь), "НОЭ", "Манто", "Консталь" «ПЕРИ» (Германия), "Гелл", (Швеция), "Квикформ" (Нидерланды) и др. Основные конструктивные элементы разборно-переставной опалубки "Монолит", "Модостр" и «ПЕРИ» приведены в таблицах 3.4, 3.5 и 3.6.

Унифицированная инвентарная опалубка системы "Монолит" применяется для образования вертикальных бетонных поверхностей. При бетонировании конструкций с горизонтальными и наклонными поверхностями комплект дополнен элементами для поддержания опалубки: стойками, ригелями, балками, прогонами и специальными креплениями. Щиты каркасной конструкции выполнены как полностью из металла, так и комбинированными - с использованием в качестве палубы дерева, фанеры, ДСП и пластика. В настоящее время в России на базе опалубки «Монолит» разработаны ряд более совершенных опалубочных систем разборно-переставной опалубки.

Институтом БелНИИС под руководством Марковского М.Ф. помимо основного комплекта разработаны опалубочные элементы для бетонирования колонн круглого сечения и безбалочных перекрытий с квадратными капителями, а также опалубочные комплексы усиленного типа.

**Таблица 3.4 – Основные конструктивные элементы разборно-переставной опалубки "Монолит"**

Элемент	Марка	Размеры, мм		Масса кг	Назначение
		Н	В		
1	2	3	4	5	6
Щит основной	ЩС1,8-0,6	1800	600	40,5	Образование вертикальных поверхностей фундаментов под каркас зданий и технологическое оборудование, стен, перекрытий, туннелей, бункеров и т.д.
	ЩС1,8-0,5	1800	500	35,0	
	ЩС1,8-0,4	1800	400	27,0	
	ЩС1,8-0,3	1800	300	23,0	
	ЩС1,2-0,6	1200	600	28,8	
	ЩС1,2-0,5	1200	500	26,8	
	ЩС1,2-0,4	1200	400	21,2	
Щит угловой стальной	ЩСУ-0,6-0,3	600	300	16,2	Образование внутренних углов конструкций
	ЩСУ-1,8-0,3	1800	300	48,0	
Схватка	С-3,6	3600	Швеллера №8, или трубы прямоугольного сечения	50,4	Использование в качестве поддерживающих и несущих элементов в опалубке фундаментов; использование в качестве прогонов в опалубке горизонтальных и наклонных перекрытий, балок, бункеров и т.п.
	С-3,0	300		42,2	
	С-2,4	2400		33,6	
	С-1,8	1800		25,2	
Несущая балка	НБ-2,6	2600	Швеллера №8	156,6	Устройство каркаса опалубки ступенчатой части фундаментов
	НБ-3,6	3600		196,7	
	НБ-4,6	4600		216,7	
	НБ-5,6	5600		236,7	
	НБ-6,6	6600		276,3	
	НБ-7,6	7600		317,0	

продолжение табл. 3.4.

1	2	3	4	5	6
Скоба прижимная	ПК-69-00	65	60	0,3	Соединение опалубки щитов
Крюк с клиновым зажимом	КН-000	-	-	1	Соединение щитов со схватками и балками
Монтажный уголок	МУ-0,5	500	Уголок 50X50X4	19-20	Сборка вертикальной опалубки, наружной опалубки стен, фундаментов под каркас здания и технологическое оборудование
	МУ-2	2000			
Раздвижная балочная струбцина	РБС	1300	480-780	19-22	Использование в качестве поддерживающего и закрепляющего элемента короба опалубки балок
Подкос	П-1,6	1600	1050	30	Для обеспечения устойчивости вертикальных щитов опалубки фундаментов, плит и т.п.
Ригель раздвижной	РР-2	1250-2000	-	26	Использование в качестве поддерживающего элемента а опалубки перекрытий
	РР-4	до 4000	-	110	
	РР-6	до 6000	-	121	
Стойка телескопическая	СТА-68	Высота	-	55,6	Использование в качестве поддерживающего элемента опалубки горизонтальных и наклонных поверхностей
		2000-3500	-	55,6	
		2000-5000			
Тальерный подкос	ПТ-50	5000-2000	-	34-17,5	Для обеспечения устойчивости вертикальных щитов опалубки стен и перегородок
Стойка решетчатая	СР-2	2000	200X200	42	Использование в качестве поддерживающего элемента опалубки горизонтальных и наклонных поверхностей на большой высоте
	СР-1,5	1500		13,25	
Подмости навесные	ПН-2,3	2300	1140	-	Для устройства навесных подмостей

**Таблица 3.5 – Основные конструктивные элементы  
мелкощитовой опалубки «Модостр» и «Модостр-Комби»**

Эскиз	Наименование	Габаритные размеры, мм		Масса, кг	Площадь, м <sup>2</sup>
		Высота Н	Ширина В		
1	2	3	4	5	6
Опалубка «Модостр»	Щит	1200	900	44	1,08
		900	900	34	0,81
	Щит	1500	600	37	0,9
		1500	500	32	0,75
		1500	400	26	0,6
		1500	300	21	0,45
		1500	200	17	0,3
		1500	150	15	0,23
		1200	600	30	0,72
		1200	500	27	0,6
		1200	400	24	0,48
		1200	300	17	0,36
		1200	200	16	0,24
		1200	150	12	0,18
		Щит	1500	300	21
	1500		200	17	0,3
	1500		150	14	0,23
	1500		100	13	0,15
	1200		300	17	0,36
	1200		200	16	0,24
	1200		150	12	0,18
	1000		100	11	0,12
	Щит- компенсатор	1500	100-300	20	0,6
		1200	100-300	16	0,48
	Наружный угол	1800	80	14	0,3
		1500	80	12	0,24
		1200	80	9	0,19
		900	80	7	0,14
		600	80	5	0,1
	Внутренний угол	1800	200	36	0,72
1500		200	31	0,6	
1200		200	25	0,48	
Балка-схватка	2500	-	23	-	
	2200	-	21	-	
	1900	-	18	-	
	1500	-	14	-	
	700	-	8	-	
	Замок 3-1	-	-	0,6	-
	Подвеска	100	-	0,6	-
	Замок 3-2	-	-	1,2	-
	Клин	-	-	0,5	-
	Винтовой тяз с двумя гайками	900	-	3,0	-
Навесной кронштейн подмостей	800	-	2,8	-	
	700	-	2,6	-	
	-	-	20	-	

продолжение табл. 3.5.

1	2	3	4	5	6
Опалубка «Модостр-Комби»	Щит	2700	600	57	1,62
		2700	500	47	1,35
		2700	400	41	1,08
		2700	300	35	0,81
		2700	250	32	0,68
		2500	750	61	1,88
		2500	600	52	1,50
		2500	500	43	1,25
		2500	400	38	1,10
		2500	300	30	0,75
	2500	250	28	0,63	
	Щит	2700	200	30	0,53
		2700	150	26	0,41
		2700	100	24	0,27
		2500	200	29	0,5
		2500	150	26	0,38
		2500	100	25	0,25
	Щит	1500	900	43	1,35
		1500	600	33	0,9
		1500	500	23	0,75
		1500	400	24	0,6
		1500	300	21	0,45
		1200	900	37	1,08
		1200	600	28	0,72
		1200	500	23	0,6
		1200	400	21	0,48
		1200	300	18	0,36
	Щит	1500	200	16	0,3
		1500	150	15	0,23
		1500	100	14	0,15
1200		200	14	0,24	
1200		150	12	0,19	
1200		100	10	0,12	
Опалубка «Модостркомби»	Регулируемый подкос	-	-	18	-

**Примечание:** остальные элементы опалубки «Модостр-Комби» аналогичны элементам опалубки «Модостр».

Для выравнивания щитов в плоскости стены устанавливают один или два ряда балок-схваток. Для опалубки «Модостр-Комби» устанавливают, как правило, балки-схватки под нижний и верхний ряды тяжей.

Шаг установки тяжей в горизонтальном направлении принимают равным ширине щита (для щитов шириной 400мм и более). В вертикальном направлении шаг установки тяжей соответствует шагу отверстий в щитах (для «Модостр-Комби» - 1000мм, для «Модостр» - 900 и 1000мм).

Замки для соединения между собой щитов устанавливают, как правило, с шагом 300 и 600мм, но не менее двух – по стороне щита.

Опалубку для конструкций высотой более 2,7м собирают в несколько ярусов по высоте. Панели верхних ярусов опирают на нижележащие или устанавливаются на опорные кронштейны, устанавливаемые в бетоне, после демонтажа опалубки нижних ярусов. Панели верхних ярусов можно устанавливать также на телескопические стойки.

**Таблица 3.6 – Основные конструктивные элементы мелкощитовой опалубки немецкой фирмы «PERI»**

Элемент	Размеры, мм		Масса, кг
	высота	ширина	
Щит	2700	2400	329
	2700	1200	159
	2700	900	112
	2700	600	80,3
	2700	300	52,9
	1200	1200	67,9
	1200	900	52,8
	1200	720	43,5
	1200	600	39,5
	1200	300	24,9
	900	600	31,4
	720	600	26,3
	600	600	24,2
	600	300	14,6
Вставка доборная	2700	360	48,8
	1200	360	24,3
Угловые элементы жесткие, 90°, 75°, 135°	600	120, 300x2	18,0
	1200	120, 300x2	32,8
	2700	120, 300x2	68,8
Угловые элементы шарнирные	1200	120x2, 300x2	43,6
	2700	120x2, 300x2	95,0
Торцовые элементы	1200	240	20,6
	2700	240	44,0
Выпрямляющий замок	-	-	4,05
Выпрямляющий ригель	-	850	12,5
Угловой ригель	-	450x450	8,91
Универсальный ригель	-	2460	81,8
Кронштейн подвесных подмостей	1000	1120	13,1
Подкосы телескопические трубчатые	до 5900	-	-
Опорные рамы	до 8700	-	-

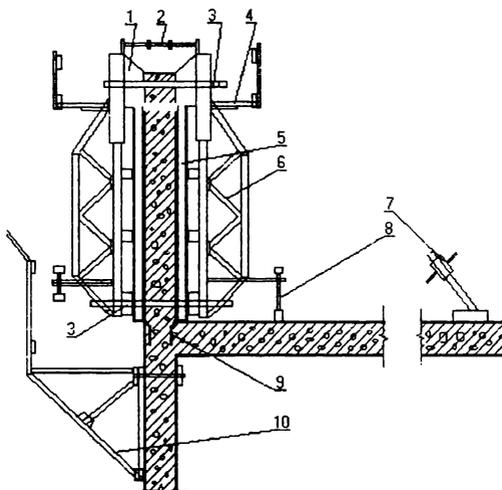
Фирмой PERI разработаны и другие комплексы разборно-переставной опалубки для бетонирования различных монолитных сооружений.

### 3.4.2. Крупнощитовая опалубка

Крупнощитовую разборно-переставную опалубку целесообразно применять при бетонировании крупноразмерных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений с большими опалубливаемыми поверхностями. Щиты опалубки, например, стен и перекрытий, соответствуют по размерам бетонируемой ячейке здания, площадь щитов может составлять от 5 до 70 м и выше.

В настоящее время разработано большое количество крупнощитовых опалубочных комплексов различными отечественными и зарубежными фирмами: «ЦНИИОМТП», «Хюнебек», НОЕ (Германия), «Штем», «Симпра» (Франция) и др.

Унифицированная крупнощитовая опалубка конструкции ЦНИИОМТП (рис. 3.3) состоит из набора основных, угловых, торцовых и доборных щитов. Из них можно собирать панели для бетонирования стен различной длины от 2,1 до 5,7 м с модулем изменения размеров 300 мм. Изменение высоты щитов, соответствующей высоте этажа от 2,8 до 3,0 м, достигается заменой верхних вставок, которые одновременно служат направляющими для укладки бетонной смеси в тонкостенные конструкции. Щиты состоят из набора унифицированных несущих элементов – горизонтально расположенных прогонов жесткости и вертикально устанавливаемых несущих ферм. В нижней части ферм установлены подкосы с винтовыми рихтовочными домкратами для точной установки, отрыва от бетона и распалубливания. Щиты оборудованы подмостями для бетонирования.

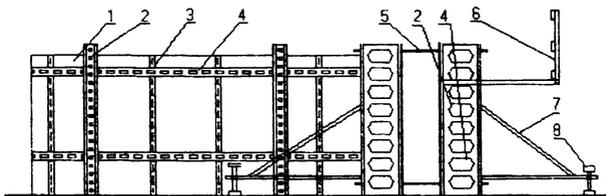


**Рисунок 3.3 – Унифицированная крупнощитовая опалубка**

- 1-направляющие бетонной смеси; 2-стяжка; 3-тяж; 4-подмости; 5-щит;  
6-вертикальная ферма; 7-регулируемая оттяжка; 8-домкрат; 9-маяк;  
10-подмости монтажа наружного щита.

Крупнощитовая опалубка института Оргтехстрой (г. Ростов-на-Дону) выполнена по типу мелкощитовой. На щитах каркасной конструкции на сварке закреплены несущие элементы-схватки. Все щиты имеют высоту 2,2 м и ширину 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,2; 2,6 и 3,0 м. В качестве палубы применен

металлический лист толщиной 3мм. При сборке конструкции опалубки больших пролетов с широким шагом стязных болтов используют фермы, устанавливаемые в горизонтальной плоскости. Для увеличения универсальности крупнощитовая опалубка может выполняться из унифицированных несущих элементов и сменной палубы. Примером такой конструкции является опалубка фирмы «Хюннебек» (Германия), (рис.3.4).



**Рисунок 3.4 – Тяжелый щит опалубки с комбинацией различных несущих элементов AZ (фирма «Хюннебек», Германия)**

1-фанерная палуба; 2-AZ 50; 3-AZ 16;4-AZ 27; 5-тяж; 6-подмости; 7-подкос; 8-винтовой установочный домкрат.

Несущими элементами этой опалубки являются специальные профили типа AZ, которые по высоте соединяют между собой с помощью накладок на болтах.

Маркировка элементов (AZ - 50, AZ - 27, AZ - 16) обозначает ширину элемента в см. с соответствующей несущей способностью (90, 35 и 15 кН). Масса элементов при длине 3м соответственно составляет (с деревянной рейкой для крепления) 166,7; 56,7 и 33,4 кг. Несущие AZ - элементы соединяются один с другим, могут устанавливаться с различным шагом и в различных комбинациях в зависимости от необходимой несущей способности опалубки.

Для бетонирования перекрытий используют крупноразмерные опалубочные поверхности размером на квартиру или комнату здания (типа стола). Опалубка состоит из горизонтального щита и опорной рамы. Рама выполнена из телескопических стоек, объединенных в жесткую конструкцию и оборудованных опорными винтовыми домкратами а также свободно поворачивающимися колесами. Раму перемещают по перекрытию нижележащего этажа на колесах. Устанавливают щит в рабочее положение и рихтуют винтовыми домкратами. Имеется возможность изменять размеры опалубки при изменении размеров перекрытий зданий с различными размерами.

Масса укомплектованной опалубки составляет от 50 до 75 кг/м<sup>2</sup>. Фанерная палуба до полного износа оборачивается 100-150 раз, а металлические несущие элементы - 300-400 раз.

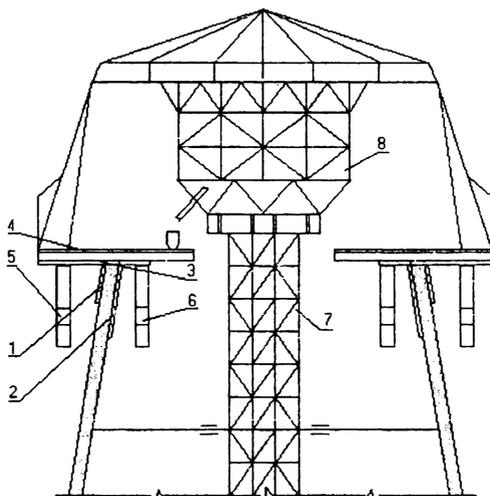
Комплект крупнощитовой опалубки стен и перекрытий позволяет возводить здания с монолитными ячейками различных размеров. В опалубке можно возводить здания с замкнутыми ячейками, в том числе с монолитными наружными стенами и перекрытиями. Последние можно блокировать как после бетонирования стен и демонтажа опалубки, так и одновременно со стенами. В этом случае опалубку перекрытий устанавливают одновременно с монтажом опалубки стен.

Демонтаж опалубки перекрытий начинается с опускания опорных элементов опалубки (стоек или консольных опор стен), после чего опалубку выкатывают к проему или на следующую захватку. Крупноразмерная опалубка полностью выкатывается к проему на монтажные подмости, где строится и переставляется краном.

### 3.4.3. Подъемно-переставная опалубка

Бетонирование в инвентарной подъемно-переставной опалубке позволяет уменьшить сечение и толщину стен ствола трубы по мере его возведения и придать сооружению необходимую геометрическую форму.

Опалубка состоит из панелей наружной и щитов внутренней опалубки (рис. 3.5). Наружная опалубка подвешивается к рабочей площадке, представляющей собой систему стальных радиальных основных и вспомогательных балок. Балки соединены кольцами и рамой, обрамляющей шахтный подъемник в жесткую диафрагму с устроенным по ней деревянным настилом, с которого производится установка арматуры и укладка бетонной смеси. На радиальных балках устанавливаются механизмы: радиального перемещения опалубки с ручным приводом.



**Рисунок 3.5 – Подъемно-переставная опалубка**

1-панель наружной опалубки; 2-щит внутренней опалубки; 3-механизм радиального перемещения опалубки; 4-рабочая площадка; 5-наружные подвесные леса; 6-внутренние подвесные леса; 7-шахтный подъемник; 8-подъемная головка

Подъем рабочей площадки осуществляется с помощью специальных электромеханических подъемных механизмов (подъемных головок), опирающихся на шахтный подъемник, который представляет собой многоярусную пространственную решетчатую ферму, собираемую на болтах из отдельных элементов (стоек, ригелей, прогонов, раскосов) по мере возведения внутри ствола трубы по различным схемам в зависимости от несущей способности.

Шахтный подъемник оснащается одной или двумя грузовыми клетями. В одной из ячеек предусматривается ходовая лестница.

Наружная коническая опалубка собирается из прямоугольных и трапециевидных щитов высотой 2700мм, из стали толщиной 2мм, которые по мере уменьшения диаметра трубы снимают.

Внутреннюю опалубку собирают из щитов высотой 1250мм, устанавливаемых в три яруса. Щиты нижнего яруса снимают и переставляют вручную после окончания бетонирования верхнего яруса.

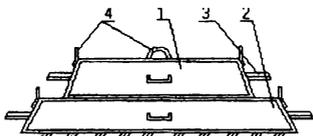
Наружную опалубку подвешивают к несущему кольцу с меняющимся диаметром.

Ствол трубы на высоту секции (2,5м) бетонируют ярусами по 1,25м.

Цикл бетонирования состоит из операций по наращиванию подъемника и отрыву опалубки, перестановки щитов наружной опалубки, обработки рабочего шва, установки арматуры и первого яруса внутренней опалубки, укладки бетонной смеси, установки второго яруса внутренней опалубки, укладки в нее бетонной смеси и выдерживания бетона. Бетонную смесь подают из подъемника в приемный бункер, затем в подвижный бункер бетоноукладчика и оттуда по хоботу в опалубку.

### 3.4.4. Блочная опалубка

Блочная опалубка может состоять как из отдельных щитов, объединенных в блоки с помощью болтов, тяжей, рам и т.д., так и из отдельных, специально изготовленных блоков. Понятие блочной опалубки включает опалубку



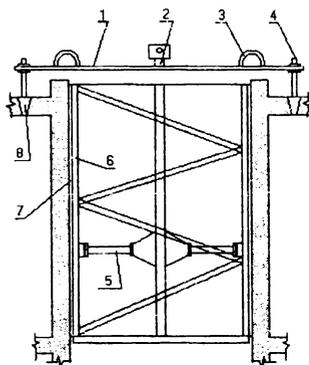
**Рисунок 3.6 – Неразъемная блок-форма для бетонирования фундаментов**  
1-форма подколонника; 2-то же, ступени; 3-кронштейны для упора домкратов;  
4-монтажные петли

для бетонирования ступенчатых фундаментов, ростверков и т.д. (блок-формы), а также опалубку для бетонирования конструкций типа лифтовых шахт, замкнутых ячеек стен жилых зданий и т.д. Для бетонирования ступенчатых фундаментов, например, широкое распространение получили неразъемные блок-формы, выполненные с конусностью (рис 3.6).

При больших размерах фундаментов применяют разъемные блок-формы, которые раздвигают при распалубливании и сдвигают при установке в рабочее положение. Их выполняют из четырех плоских жестких щитов, соединенных в углах замками. Это позволяет использовать их при бетонировании разнотипных конструкций, что увеличивает универсальность и возможность использования разъемных блок-форм.

Достаточно эффективно применение блочной опалубки для бетонирования замкнутых ячеек стен лифтовых шахт и лестничных клеток (рис.3.7).

Предложено большое количество конструкций блочной опалубки в отечественной и зарубежной практике. В качестве интересного



**Рис. 3.7 Блочная опалубка ЦНИИОМТП для бетонирования лифтовых шахт**

1-настил; 2-центральная стойка;  
3-петли; 4-регулирующий винт;  
5-тяга соединения щитов со стойкой; 6-рама; 7-щиты;  
8- конусная опора

примера можно привести швейцарскую систему, в которой для изменения размеров щиты опалубки разрезаны по середине пролета, в этом месте при перемонтаже опалубки можно устанавливать вставки разных типоразмеров.

Достаточно распространена опалубка с гибкими щитами («Унитор» Франция), которые при распалубке изгибаются, после чего их отрывают от бетона и стягивают к центру забетонированной ячейки. Стягиваются щиты гидравлическими или механическими домкратами.

### 3.4.5. Объемно-переставная опалубка

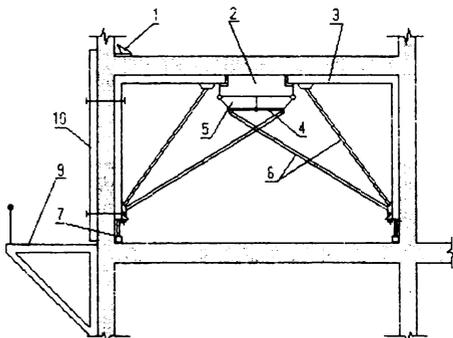
Объемно-переставная опалубка представляет собой крупноразмерный опалубочный блок, включающий опалубку стен и перекрытий, который собирают и переставляют при помощи монтажного крана. В настоящее время применяют объемно-переставную опалубку разной конструкции с принципиально различными способами монтажа и демонтажа.

В общем виде опалубка состоит из пространственных секций П-образной или Г-образной формы, которые при соединении образуют «туннели» опалубки на комнату или на всю ширину здания (рис. 3.8).

Секции опалубки имеют переменную ширину в зависимости от принятого шага стен и различную длину. При демонтаже секции опалубки как бы сжимают, для чего сдвигают внутренние боковые щиты (щиты стен), а горизонтальные щиты (щиты перекрытия) перемещают вниз. Затем секцию перекатывают по перекрытию к открытому фасаду или проему в перекрытии и извлекают краном.

Объемно-переставная опалубка применяется двух типов: рамной конструкции и безрамной. Рамная конструкция включает несущую раму с навешенными на нее боковыми щитами и установленным горизонтальным щитом. Боковые щиты могут перемещаться относительно рамы, удаляясь от нее при установке в рабочее положение и приближаясь при распалубливании. Горизонтальный щит также может перемещаться вместе с рамой. В последнем случае на раме устанавливают домкраты, с помощью которых поднимают и опускают всю секцию.

Секции безрамной конструкции состоят из боковых и горизонтальных щитов Г-образной формы. Для увеличения жесткости такие щиты оборудуют подкосами, фермами. Их положение можно изменять при установке и распалубливании.



**Рис. 3.8. Унифицированная объемно-переставная опалубка конструкции ЦНИИОМТП**

- 1-опалубка маяков; 2-центральная вставка;
- 3-Г-образный щит; 4-распалубочный щит;
- 5-шарнирный распалубочный механизм;
- 6-регулируемый подкос; 7-винтовой домкрат;
- 8-катки; 9-подмости торцовых стен;
- 10-щит торцовой стены.

Применение трансформируемой объемно-переставной опалубки для различных пролетов перекрытий при переменной их глубине, расположении относительно друг друга и ориентации "туннелей" позволяет получать разнообразные объемно-планировочные решения зданий. Вместе с тем, применение объемно-переставной опалубки накладывает определенные технологические ограничения: необходимо оставлять проемы, или открытые фасады для извлечения опалубки, иметь более сложную конструкцию, чем крупно-щитовая. Поэтому применять ее целесообразно для возведения большой серии монолитных зданий в одном районе с высоким темпом оборачиваемости опалубки.

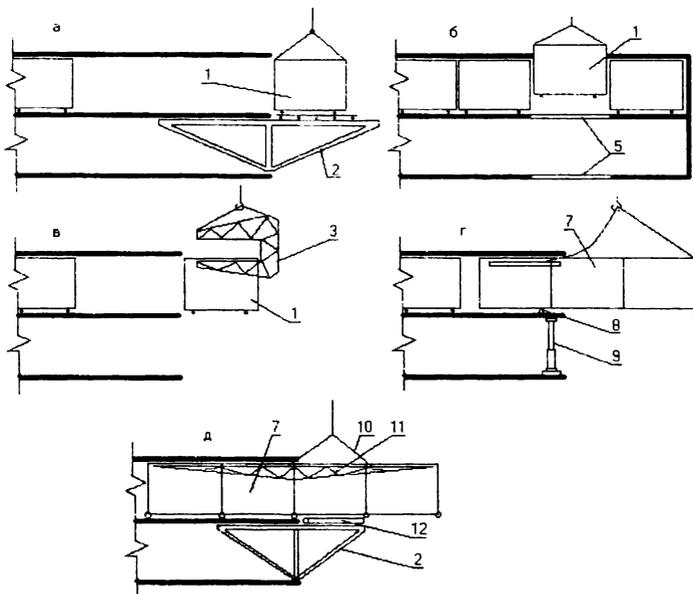
Эффективность применения объемно-переставной опалубки также зависит от метода монтажа и демонтажа блоков (рис.3.9). Монтаж и демонтаж секциями небольшой ширины с использованием подмостей, связан с наиболее высокими затратами труда на опалубочные работы (включая трудоемкий процесс установки и демонтажа подмостей). Кроме того, применение опалубки, состоящей из небольших секций с множеством стыковых соединений по длине "туннеля", связано со значительными затратами труда на подгонку секций при стыковке и последующими отделочными работами, связанными с выравниванием поверхности, срезкой наплывов и выравниванием перепадов в местах стыковых соединений.

Применение траверс типа "утиный нос" позволяет снизить затраты труда на демонтаж секций, однако проблема стыковки и последующей отделки бетонных поверхностей в местах стыковки соединений остается неизменной. Наиболее эффективно применение крупногабаритных блоков объемно-переставных опалубок.

В этом случае достигается наибольшая производительность труда и оказывается возможным получение высококачественных бетонных поверхностей без рустов и наплывов в пределах бетонируемой ячейки здания. В этом плане достаточно интересна идея, примененная фирмой "Унитор" (Франция), использования секций, разрезанных вдоль бетонируемого туннеля, что позволяет увеличить длину демонтируемых целиком секций до 14-15м. Кроме того, применение таких секций (Г-образных полутуннелей) позволяет осуществлять демонтаж опалубки до достижения бетоном перекрытий с пролетами более 6м прочности, составляющей 80% проектной. В этом случае после демонтажа одного полутуннеля посередине пролета перекрытия, выставляется ряд телескопических стоек, после чего демонтируется второй полутуннель. Такой способ позволяет значительно увеличить темп оборачиваемости дорогостоящей опалубки даже без применения интенсивного прогрева бетона.

Г-образные полусекции при монтаже П-образных (в рабочем положении) туннелей опалубки использует также фирма НОЕ (Германия), причем сами полусекции монтируют из унифицированных несущих элементов крупнощитовой опалубки фирмы.

Объемно-переставная опалубка ЦНИИОМТП (рис.3.8) также состоит из Г-образных полусекций, объединенных шарнирным распалубочным механизмом. Между секциями находится центральная вставка. Секции рассчитаны на высоту этажа (от потолка до потолка) 2,8 и 3,0м и пролеты перекрытий от 2,7 до 6,3м с модулем 0,3м. Длина секций 1,2; 1,5 и 1,8м.



**Рисунок 3.9 – Схемы демонтажа объемно-переставной опалубки**

а) - мелкогабаритными секциями с помощью монтажных подмостей; б) - то же, через проемы, оставленные в перекрытии; в) – то же, с помощью специальной траверсы; г, д) – крупногабаритными блоками с помощью подмостей с откидным ограждением. 1-секция опалубки; 2-монтажные подмости; 3-траверса “утиный нос”; 4 - проем в перекрытии; 5-сборное перекрытие; 7-крупногабаритный блок; 8-опорный домкрат; 9-телескопическая стойка; 10-траверса; 11-распределительная ферма; 12-откидное ограждение

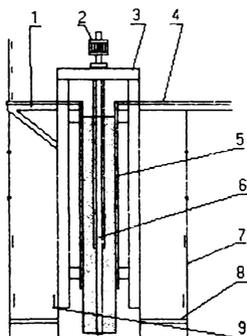
### 3.4.6. Скользящая опалубка

Скользкая опалубка применяется для возведения вертикальных элементов зданий и сооружений (башен, силосов, надшахтных копров, ядер жесткости зданий и стен зданий повышенной этажности) постоянной, переменной или ступенчато-переменной сечения из монолитного железобетона методом непрерывного бетонирования. Она представляет собой пространственную опалубочную форму, установленную по периметру стен и поднимаемую по мере их бетонирования гидравлическими или электрическими домкратами.

Основными элементами скользкой опалубки являются щиты, домкратные рамы, рабочий пол, подвесные подмости, домкратные стержни, устанавливаемые по оси стен, домкраты (рис. 3.10).

Домкратные рамы являются несущими элементами опалубки, т.к. к ним крепятся щиты опалубки, воспринимающие давление бетонной смеси, к ним подвешены подмости и опирается рабочий пол. На домкратные рамы закреплены домкраты, которые, опираясь на стержни, поднимают всю конструкцию опалубки. Щиты закрепляют к стойкам домкратных рам с наклоном (конусностью)

к вертикальной оси возводимых стен. Конусность обычно принимается в пределах 1/500... 1/200 высоты щита или 5-7мм на каждую сторону при стандартной высоте щита 1,0... 1,2м.



**Рисунок 3.10 – Устройство скользящей опалубки**

- 1-наружные подмости; 2-гидродомкрат с регулятором горизонтальности;  
3-дом-кратная рама; 4-рабочий пол; 5-щит опалубки; 6-домкратный стержень;  
7-подвески; 8-внутренние подмости; 9-кронштейны.

Щиты изготавливают металлические, деревянные или комбинированные. Полностью металлическую опалубку целесообразно использовать в умеренном климате, так как при перегревах возможны неравномерные тепловые деформации щитов и «прилипание» пристенных слоев бетона. Деревянная опалубка, несмотря на то, что она дешевле металлической и более эластична (что снижает количество срывов), применяется редко из-за малого срока службы. Для повышения эластичности опалубки металлические щиты могут закрепляться на стойках рамы с помощью пружин или других эластичных прокладок.

Щиты могут быть плоскими, криволинейными или другой конфигурации. Рабочий пол неразборный или разборный, что позволяет осуществлять бетонирование перекрытий нижних этажей.

Для подъема опалубки применяют в основном гидравлические домкраты, что позволяет осуществлять полуавтоматический или автоматический подъем. Для автоматического режима применяются домкраты ОГД-61А (табл. 3.7) с регулятором горизонтальности РП-67. Привод осуществляется от насосной станции ПНС-1В или ПНС-ПВ (табл.3.8). Приставка к домкрату позволяет осуществлять «шаг на месте» при вынужденных перерывах в бетонировании конструкции.

Для автоматического подъема используют гидравлический домкрат ОРГ-64У. Привод осуществляется от насосной станции АНС-12У с приставкой счета импульсов. Канал для домкратного стержня образуется благодаря защитной трубке, устанавливаемой под домкратом, через которую проходит домкратный стержень. Это позволяет в последующем извлекать стержни, так как они свободно устанавливаются внутри защитных трубок. Домкратные стержни представляют собой стальные стержни, диаметром 25... 32мм, определенной длины, наращиваемые по мере подъема опалубки. Соединяют стержни на резьбе, для чего один конец стержня имеет выточку, на который нарезана резьба, другой – штырь.

**Таблица 3.7 – Технические характеристики домкратов**

Характеристики	Домкраты отечественные					Домкраты зарубежные, гидравлические					
	Гидравлические			Электро-механические		Конкрето-Промето (Швеция)		Интер-консульт. (Швеция)	Германия		
	ОГД-61	ОГД61А ОГД62А	ОГД64	Без марки	ПДО-60	601	604		KG-I	KG-II а	KG-II б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Грузоподъемность, т	6	6	7,5	2,5	2,5	3	6	6	3	4	4
Наибольшее рабочее давление, МПа	5	5	12,5	-	-	15	15	15	12,5	12,5	12,5
Рабочий ход (шаг), мм	30	30	30	500	150	25	25	30	20	20	20
Энергоемкость, кВт	0,025	0,0025	0,02	0,27	0,012	0,012	0,012	0,012	0,035	0,035	0,035
Энергоемкость на единицу грузоподъемности кВт*ч	0,0041	0,0041	0,0026	0,0108	0,0108	0,0108	0,0024	0,0024	0,015	0,0087	0,0087
Способ возвратно-поступательного движения опалубки на один шаг	ручной	автомат.	автомат	-	-	-	-	-	-	Автомат	Автомат
Масса на единицу грузоподъемности, кг/т	2,44	2,44	1,71	40	24	2,76	-	25	-	-	-
Габариты:мм											
Длина	-	-	136	112	610	112	-	-	-	-	-
Высота	340	340	397	450	470	450	-	-	397	287	295
Ширина	-	-	136	112	286	112	-	-	225	285	275
Диаметр	190	190	-	-	-	-	-	-	110	110	110
Масса, кг	14,9	14,9	12,9	100	60	13	-	13	-	-	-

Таблица 3.8 – Характеристики некоторых насосных станций

Показатель	отечественные					зарубежные		
	ПНС-1В	ПНС-1ВВ	АНС-125М	АНС-125У	АНС-100У	НТР-5 (Швеция)	Насосная станция (Германия)	Гидропанель (Румыния)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Производительность, л/мин:								
Общая	24	48	5	16	28	5	10	40
Высокой ступени	12	24	-	-	-	-	-	-
Низкой ступени	12	24	-	-	-	-	-	-
Рабочее давление, МПа								
Наибольшее	-	-	12,5	12,5	12,5	15,0	12,5	8
Высок. ступени	5	5	-	-	-	-	-	-
Низкой ступени	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
Регулируемые параметры:								
Производительность, л/мин	12,24	12,24	0,25-5	0,25-16	0,15-28	-	-	-
Давление, МПа	0,5-5	0,5-5	5-12,5	5,2-12,5	5-12,5	до15	до12,5	до8
Время, мин	-	-	2-60	2-60	2-60	-	-	-
Число импульсов	-	-	1-25	1-25	1-25	-	-	-
Режим работы	ручной полуавтоматический	ручной	ручной					
Приводная мощность, кВт	3	6	2,2	6	6	1,5	3,5	4
Количество обслуживаемых домкратов	120	250	5	250	300	125	100	50
Масса, кг	15	300	152	227	235	-	-	140

Для расчета расстояния между домкратными стержнями учитываются нагрузки от веса опалубки, подмостей, силы трения по плоскости скольжения. Расстояние между стержнями ( $l$ ) принимается таким, чтобы усилие в опорном стержне было меньше суммарной нагрузки на стержень:

$$P \leq l \left( \sum_{i=1}^n q_i + 2\phi \right) \leq m * \phi * R * F, \quad 3.12$$

где:  $q_1, q_2, \dots, q_n$  - нагрузки от опалубки, подмостей, крана (при установке на рабочем полу), бадей с бетоном, людей и т.д., Н/м;  
 $\phi$  - сила трения между плоскостью формы и бетоном, отнесенная к 1 м периметра формы, Н/м;  
 $m$  - коэффициент условий работы;  
 $\phi$  - коэффициент продольного изгиба опорного стержня;  
 $R$  - расчетная прочность стали на сжатие, Па;  
 $F$  - площадь сечения опорного стержня, м<sup>2</sup>.  
 Расстояние между стержнями будет равно:

$$l = \frac{m * \phi * R * F}{\left( \sum_{i=1}^n q_i + 2\phi \right)}, \quad 3.13$$

При подъеме опалубки может произойти срыв бетона при несоблюдении технологических и конструктивных требований. Отсутствие срывов бетона в процессе подъема опалубки обеспечивается в том случае, если силы трения, возникающие по двум плоскостям скольжения, меньше массы свежеложенного бетона. При этом, условно можно считать, что силы трения развиваются только на половине высоты опалубки (в зоне еще несхватившегося бетона):

$$\frac{h}{2} * 2\phi < \frac{h}{2} * b * \rho_{б.с.}, \quad 3.14$$

откуда минимальная толщина стенки сооружения, при которой исключено появление разрывов в бетоне (при расчете силы трения и веса бетона на 1 м опалубки), будет:

$$b = \frac{2\phi}{\rho_{б.с.}}, \quad 3.15$$

где:  $\phi$  - сила трения между плоскостью опалубки и бетоном, Н/м<sup>2</sup>;  
 $h$  - высота скользящей опалубки, м;  
 $b$  - ширина бетонируемой стенки, м;  
 $\rho_{б.с.}$  - средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

Так, например, принимая силу трения между бетоном и деревянной поверхностью опалубки равной 1500 Н/м<sup>2</sup>, а среднюю плотность бетонной смеси - 2400 кг/м<sup>3</sup>, расчетная минимально-допустимая толщина стенки сооружения, бетонируемой в скользящей опалубке, составит 0,12 м. Однако по конструктивным и технологическим соображениям толщина стенки обычно принимается не менее 0,15 м.

Для уменьшения сил трения опалубки, практически, для исключения по бетону и бетонной смеси предложена конструкция, в которой щиты заменены бесконечной лентой на двух роликах. В этом случае опалубка не скользит, а перекачивается по поверхности бетона. При этом ленту можно изготовить с рельефными выступами для получения рельефного рисунка на поверхности стен.

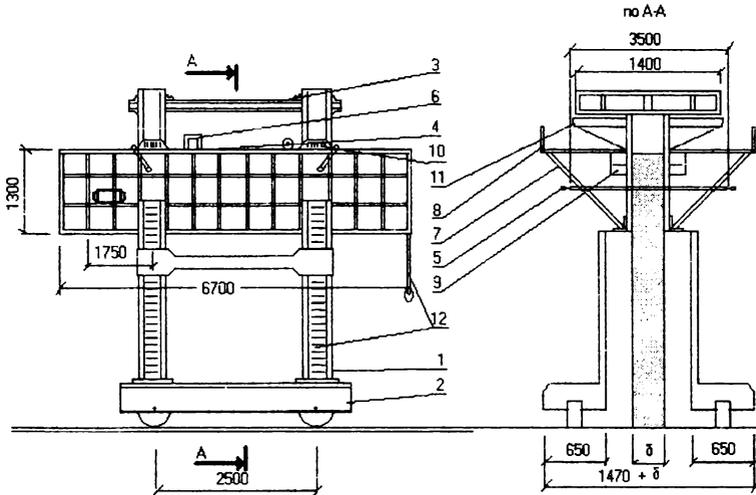
Для снижения сцепления опалубки с бетоном также предложено применять прокладку из полиэтиленовой пленки, резины и т.п. Ролон с пленкой закрепляют на домкратной раме, при движении опалубки он сматывается с нее, образуя разделительную поверхность между щитом опалубки и бетонной смесью. Такая пленка может также служить и теплоизоляцией или облицовкой бетонной стены.

### 3.4.7 Горизонтально-перемещаемая (катучая) и туннельная опалубки

Катучую опалубку применяют для бетонирования стен и перекрытий, а также туннелей открытым способом при простой конфигурации и большими опалубливаемыми поверхностями. В частности, такой вид экономически целесообразно применять взамен щитовой переставной опалубки при бетонировании следующих сооружений:

- линейно-протяженных с высотой стен до 3 м, площадью не менее 200 м<sup>2</sup>, высотой 3-6 м и площадью более 180 м<sup>2</sup>;
- замкнутых в плане емкостных сооружений при высоте стен до 3 и площадью не менее 450 м<sup>2</sup>;
- высотой 3-6 м с площадью более 400 м<sup>2</sup>.

Например, опалубка конструкции Донецкого Промстройинипроекта (рис. 3.11) предназначена для поярусного бетонирования протяженных стен. Она позволяет бетонировать стены толщиной 12-60 см. Длина опалубочных щитов составляет 6-8 м, высота - 1,2-1,5 м. Скорость горизонтального передвижения 6-8 м/ч.



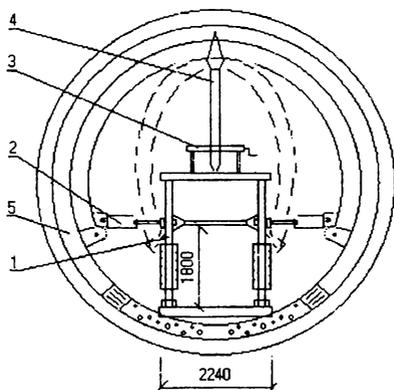
**Рис.3.11 – Схема горизонтально-скользящей опалубки**

1-колонны портала, 2-тележка, 3-балка, 4-щит опалубки, 5-прижимное устройство, 6-лебедка подъема щитов, 7-настил, 8-ограждение, 9-ползуны, 10-фиксаторы, 11-бункер, 12-лестница.

Щиты перемещают вверх по направляющим портала для перестановки на следующий ярус бетонирования. Их отрывают от бетона и перемещают горизонтально с помощью винтовых домкратов, а поднимают с помощью тросов. На опалубке смонтирован бункер объемом 1,4 м<sup>3</sup> с вибраторами для подачи бетонной смеси и рабочие подмости. Портал перемещают по рельсам с помощью лебедок со скоростью 4-8 м/ч.

После установки опалубки в исходное положение и бетонирования на всю высоту через 45-60 мин начинают ее первое пробное горизонтальное движение. Если при этом бетон не оплывает и нет видимых трещин, то дальнейшее движение опалубки и укладку бетона ведут непрерывно до окончания бетонирования первого яруса. На втором и следующих ярусах опалубка возвращается в исходное положение, и процесс повторяется.

Тоннельная опалубка является разновидностью объемно-переставной опалубки. Она представляет собой раму, на которой с помощью рычагов и домкратных тяг, закреплены криволинейные щиты, шарнирно соединенные между собой (рис. 3.12).



**Рисунок 3.12 – Катучая опалубка туннеля**

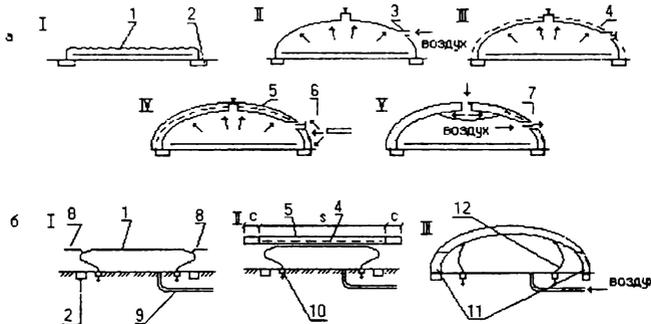
1-опорная конструкция (на тележке); 2-горизонтальный домкрат, 3-горизонтальный винт; 4-вертикальный домкрат; 5-секция опалубочных щитов (пунктиром показана опалубка в положении передвигки)

С помощью домкратов опалубка ставится в рабочее положение с опорой на бетонные уступы, а после бетонирования складывается. Рама устанавливается на тележках, перемещается по рельсовому пути.

### 3.4.8 Пневматическая опалубка

Пневматическая опалубка применяется в основном для возведения сводчатых (пролетом 6,12 и 18м) и купольных сооружений (диаметром до 10м). Применяют два способа ее устройства: подъем опалубки до бетонирования и после бетонирования на горизонтальной опалубке. При первом способе опалубку расстилают на подготовленное основание и плотно крепят по периметру сооружения к фундаментам (рис.3.13а).

Затем воздухом вентилятора или компрессора через обратный клапан опалубку накачивают до расчетного давления и принятия ею проектного положения. Далее устанавливают арматуру и послойно производят набрызг бетонной смеси или нанесение стеклоцемента с помощью пистолета-распылителя.



**Рисунок 3.13 – Пневматическая опалубка**

- а) – схема возведения полусферы с набрызгом бетонной смеси;  
 б) – схема возведения свода с предварительной укладкой бетонной смеси.  
 1- разложенная опалубка; 2- опорные фундаменты; 3- клапаны для впуска и выпуска воздуха; 4- арматура; 5- уложенная бетонная смесь; 6- набрызг бетона; 7- выпускной клапан; 8- открылки; 9- трубопровод для подачи воздуха; 10- анкеровка опалубки; 11-участки свода (стены) бетонированные заранее; 12- пневмоопалубка, неоспри-касающаяся с бетоном.  
 I, II, III, IV, V – последовательность выполнения работ.

Для повышения устойчивости и исключения местных деформаций такой опалубки используют систему вант, которые крепят к ее внутренней поверхности и располагают радиально. Распалубку производят после набора бетоном расчетной прочности.

При устройстве опалубки после бетонирования ее расстилают по контуру фундамента, затем укладывают бетон, и опалубку поднимают или устраивают только одну или две складки за пределами фундамента (рис.3.13.б). Бетонную смесь укладывают горизонтально, включая участки открылок. Нагнетая воздух под опалубку, постепенно увеличивают давление. При подъеме опалубки складки растягиваются, и открылки занимают проектное положение. Для предотвращения оплывания бетонной смеси применяют спиральную арматуру и растягивающееся полотно, которым сверху закрывают бетон. При нагнетании воздуха бетон между оболочками обжимается.

### 3.4.9. Несъемная опалубка

Несъемной опалубкой или опалубкой-облицовкой называют форму, собранную из железобетонных или полимерных листов, которые входят в бетонную конструкцию и работают с ней как одно целое. Несъемная опалубка иногда применяется при бетонировании конструкций в стесненных условиях, затрудняющих распалубывание, а также при возведении сборно-монолитных конструкций. В последнем случае опалубка (сборные железобетонные панели,

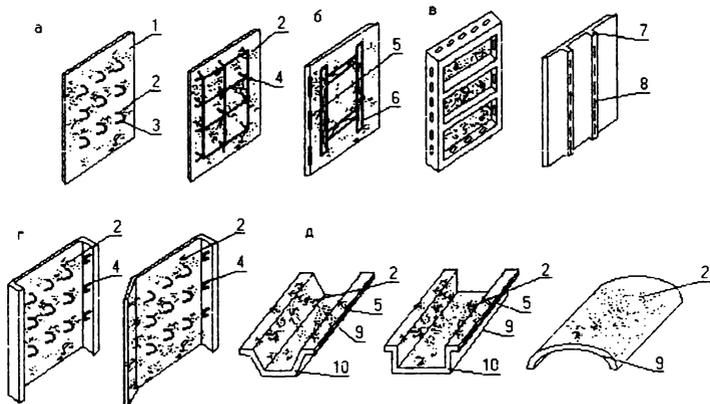
металлические профилированные настилы и др.) обычно включается в расчетные сечения конструкции и работает в дальнейшем совместно с монолитным бетоном. Для повышения долговечности железобетонных конструкций необходимо обеспечить хорошее сцепление между опалубкой-облицовкой и бетоном массива.

Железобетонную опалубку-облицовку применяют для массивных конструкций (столбчатых и ленточных фундаментов, стен толщиной более 0,5м, опускных колодцев, опор мостов и путепроводов и т.п.).

Железобетонные облицовочные плиты больших размеров изготавливают на предприятиях стройиндустрии и устанавливают на строительной площадке кранами.

Железобетонные облицовочные плиты опалубки применяют в виде плоских и ребристых плит. Ширина плоских опалубочных плит равна 1м при толщине 5-6см, длину их принимают в зависимости от размеров конструкций, но не более 4м. Для лучшего сцепления с бетоном, плитам придают активную шероховатую поверхность, снабжают специальными анкерными петлями или выступающим за активную поверхность арматурным каркасом (рис.3.14а,г,д).

Ребристые опалубочные плиты (рис.3.14в,г) имеют ширину 0,6 или 1,2м и длину до 6м. Помимо шероховатой активной поверхности для лучшего сцепления в ребрах устраивают сквозные отверстия диаметром 2,5-3,0см с шагом 20-25см.



**Рисунок 3.14 – Виды железобетонных опалубочных элементов**

а)-плоские плиты; б)-армоопалубочная панель; в)-ребристая плита; г,д) - профильные опалубочные элементы. 1-плита; 2-активная поверхность; 3-анкерная петля; 4-«змейка»; 5-закладная деталь; 6-арматурный каркас; 7-ребро; 8 - анкерные отверстия; 9-профильный элемент, 10-лицевая поверхность.

Несъемная опалубка может быть выполнена из массивных унифицированных дырчатых железобетонных блоков длиной 2-6м, высотой 0,4-0,5м и толщиной 0,3-0,4м, для бетонирования массивных сооружений. В сквозные каналы в блоках устанавливается армокаркас с последующим бетонированием.

Железобетонную опалубку-облицовку из плит крепят в блоках бето-нирования скрутками, тяжами, фаркопами за петли к арматурному каркасу блока.

Широкое применение нашла армоцементная, стеклоцементная и фиброцементная несъемная опалубка. Армоцементные опалубочные плиты изготавливают как плоскими, так и ребристыми толщиной от 25 до 35мм. Для армирования применяют тканые, а также сварные метал-лические сетки из проволочек толщиной 0,8-1,2мм с размером ячеек 6-12мм, сварные из горячекатанной арматуры, сделанной из стали класса S400, диаметром 6-9мм.

Армоцементные плиты шириной 1м и длиной до 3,5м имеют следующие показатели: средняя плотность-2,4-2,45т/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии - 30 МПа, прочность на растяжение при изгибе - 18 МПа. Армоцементную опалубку изготавливают как формованием на поддонах, так и торкретированием на горизонтальных формах.

Стеклоцементные плиты изготавливают толщиной 10,13,15 и 18мм. Оптимальные размеры плит (при высоте от 600 до 1800мм) в плане от 900 600 до 2100 1800мм. Стеклоцементные плиты имеют высокую водонепроницаемость (W10-W16) и предел прочности при изгибе 12 МПа и более. Поэтому она может служить как гидроизоляция бетона конструкции, так и защита от агрессивных сред.

Для изготовления опалубки применяют стекложгут из щелочестойкого стекловолокна. Однако выполненными в ЦНИИОМТП исследованиями снижение прочности стеклоцемента на обычном нещелочестойком стекловолокне не оказывает влияния на изменение гидроизоляционных свойств, что расширяет номенклатуру стекловолокна для изготовления армоцементной несъемной опалубки.

Изготовление опалубки производится на конвейерной линии методом напыления. Механизм напыления установлен на подвижной тележке и совершает возвратно-поступательное движение поперек направления движения поддонов по конвейеру. Цементное тесто подается к механизму напыления самотеком из бункера-накопителя, в котором установлены вращающиеся лопасти. Одновременно с подачей цементного теста к механизму напыления подводится стекложгут. Жгут подается на механизм рубки напылителя и разрубается на фибры длиной 60-100мм. Разрубленный жгут и цементное тесто сжатым воздухом подаются на форму (перемешивание осуществляется в аэрозольном факеле). Примерный расход материалов на 1м<sup>2</sup> плиты толщиной 13мм составляет: цемента-15-16кг, стекловолокна-0,6-0,7кг. Для изготовления такой опалубки применяют низкоосновные цементы, в частности, глиноземистый цемент. Стеклоплиты можно пилить электропилами, а также сверлить в них отверстия.

Плоские стеклоцементные и фиброцементные опалубочные плиты применяют для возведения ступенчатых фундаментов, массивных фундаментных плит, стен различных сооружений, а также профильные плиты для колонн, пилястр, прогонов и т.п.

При наличии в монолитной конструкции (сооружении) жесткого арматурного каркаса стеклоцементные (фиброцементные) плиты крепят непосредственно к нему с помощью проволочных скруток, пропускаемых через отверстия в плитах или через швы между ними. С лицевой стороны устанавливают прогоны из круглых арматурных стержней или коротышей диаметром 18-22мм. При отсутствии в монолитных конструкциях жестких арматурных каркасов опалубочные плиты монтируют с использованием временных инвентарных наружных креплений.

В зарубежной и отечественной практике используются опалубка-утеплитель. В таких странах, как Австрия, Германия, Великобритания, Швейцария и др. применяют пустотелые элементы (рис.3.15), которые выполняются из различных материалов: фибролита, легкого бетона, пенополистирола. Пенополистирольные блоки несъемной опалубки применяют во Франции и Германии для возведения жилых односемейных домов, гаражей и других зданий. Благодаря хорошим теплоизоляционным свойствам пенополистирола, можно вести бетонирование в зимних условиях без подогрева бетонной смеси.



**Рисунок 3.15 – Пустотелые элементы несъемной опалубки.**  
 а) соединение впритык; б) с образованием вертикальных полостей между блоками. 1-опалубка; 2-полости, заполняемые бетонной смесью.

В качестве несъемной опалубки в Великобритании, например, используют металлические панели каркасной конструкции, имеющие облицовку со стороны помещения теплоизоляцию из стирола или полиуретана.

В США, в качестве несъемной опалубки используют ребристые полиэтиленовые и пенополистирольные панели (размером 1,2 x 0,4м, с ребрами от 18 до 28мм), которые армируются стальной сеткой.

В Норвегии применяют асбестоцементные панели, утепленные полистиролом.

В отечественном строительстве и за рубежом при возведении бетонных перекрытий в качестве несъемной опалубки применяется настил различной несущей способности из профилированной листовой стали. Для увеличения связи настила с бетоном применяется нанесение на настил вертикальных выступов, а также приварка металлических анкеров из полосок толщиной 1мм размером 20 - 80мм, с шагом 200мм.

Применение несъемной опалубки дает возможность снизить трудоемкость опалубочных работ примерно на 80%, по сравнению с деревянной щитовой опалубкой, и на 35-40%, в сравнении с инвентарной металлической. Соответственно стоимость опалубочных работ снижается до 10-15%.

### **3.5. Смазки, антиадгезионные покрытия и футеровки для опалубки**

Бетон с различными опалубочными материалами имеет значительное сцепление (табл.3.8.). Оно определяется природой опалубочного материала, его шероховатостью и пористостью, маркой бетона, а также его возрастом и условиями твердения.

Большое сцепление бетона с опалубкой затрудняет ее снятие, вызывает преждевременный износ щитов, которые обрастают цементной коркой. Кроме того, применение загрязненной бетоном опалубки затрудняет ее установку и ухудшает качество поверхности железобетонных конструкций.

В частности, из-за большого сцепления и трения между бетоном и скользящей опалубкой затрудняется ее подъем. появляются горизонтальные трещины и срывы бетона, увеличивается шероховатость бетонной поверхности.

Для снижения или полного устранения сцепления между бетоном и опалубкой, уменьшения негативных последствий необходимо применять эффективные смазки или антиадгезионные полимерные покрытия, футеровки для опалубки. Однако в настоящее время около 60-80% инвентарных опалубок или вообще не смазываются, или для этого применяют низкосортные материалы.

Применяемые смазки должны обладать:

- хорошей адгезией к материалу опалубки и плохой к бетону;
- образовывать сплошную пленку возможно меньшей толщины (0,1-0,2мм);
- не растворяться в воде, не проникать в поверхностный слой бетона и не оставлять на нем темных масляных пятен;
- не вызывать коррозии стальной опалубки;
- не высыхать и не терять своих свойств при отрицательных температурах;
- быть безвредными для организма человека и пожаробезопасными;
- быть дешевой и легко наноситься на опалубку.

Все смазки классифицируют на: суспензии, эмульсии, растворы вязких нефтепродуктов, отходы нефтехимии, консистентные и полимерные композиции. По принципу действия смазки условно делятся на пленкообразующие, гидрофобизирующие, смазки-замедлители схватывания или вскрыватели и комбинированные.

При использовании пленкообразующих смазок на формирующих поверхностях опалубки появляется тонкая пленка, препятствующая прилипанию бетона к опалубке. К таким смазкам относятся известковая и глиняная суспензии. Они примерно в два раза снижают сцепление. Однако такие смазки нестабильны, плохо удерживаются на вертикальных поверхностях опалубки, загрязняют поверхность бетона.

Лучшими свойствами обладает известковая суспензия с добавлением формальдегида (известковое молоко 75-95%, формальдегид 5-25%).

К пленкообразующим смазкам относятся также составы из смеси петролатума (0,3-5 мас.ч.), извести-кипелки (1 мас.ч.), воды (2-2,5 мас.ч.) и жидкого стекла (0,04-0,045 мас.ч.), а также смесь из известкового теста (0,4-0,6 мас.ч.), сульфитно-спиртовой барды (0,8-1,2 м.ч.), полуводного гипса (0,6-0,9 м.ч.) и воды (4-6 м.ч.).

Эти смазки более совершенны, по сравнению с суспензиями, однако они имеют малую стабильность, несплошность образуемой пленки, невозможность применения в зимних условиях.

Гидрофобизирующие смазки в отличие от предыдущих, при нанесении на опалубку, образуют гидрофобную, т.е. несмачиваемую пленку, в результате чего существенно снижается или полностью устраняется сцепление. К ним относятся прямые и обратные эмульсии, растворы и отходы нефтепродуктов, консистентные минеральные, а также полимерные смазки.

К консистентным гидрофобизирующим смазкам относится смазка Лихтенштулей, состоящая из технического вазелина (75%) и стеарина (25%). Эта смазка имеет высокую стоимость, требует дефицитных материалов и поэтому

ее рекомендуется применять для стальной и пластмассовой опалубки, если к качеству поверхностей бетонируемых конструкций предъявляются повышенные требования.

**Таблица 3.9 – Сцепление бетонов с различными опалубочными материалами**

Материалы	Нормальное сцепление бетонов в возрасте 1 суток, кг/см <sup>2</sup>			
	тяжелый бетон		керамзитобетон	
	В 12,5	В 7,5	В 12,5	В 7,5
Сталь без обработки и без смазки	1,85	1,31	1,81	2,41
Сталь со смазкой	0,47	0,35	0,39	0,45
Сосна строганая	1,25	1,12	1,17	1,32
Фанера водостойкая	1,15	1,08	1,11	1,22
Древесно-стружечная плита	1,20	1,16	1,18	1,20
Текстолит	0,29	0,20	0,24	0,26
Гетинакс	0,57	0,42	0,52	0,56
Фторопласт-4	0,19	0,13	0,14	0,15
Стеклопластик полиэфирный	0,31	0,23	0,24	0,26

Действие смазок-замедлителей (вскрывателей) основано на замедлении процессов схватывания тонких пристыковых слоев бетона. В результате к моменту распалубки прочность этих слоев оказывается незначительной и отрыв происходит частично по контактной зоне, частично по слабым пристыковым слоям бетона. В дальнейшем поверхностные слои бетона набирают проектную прочность и качество железобетонных конструкций не снижается.

Такие смазки позволяют обнажать (вскрывать) структуру бетона путем промывки его струей воды сразу же после распалубки. Поверхность железобетонных конструкций после такой промывки приобретает красивый внешний вид с равномерным обнажением крупного заполнителя. В этом главное преимущество смазки вскрывателей.

Наиболее эффективны комбинированные смазки, разработанные в ГИСИ им. В.П.Чкалова (ЭСО ГИСИ). В их состав входят гидрофобизирующие вещества, образующие на поверхности опалубки несмачивающуюся пленку и препятствующие прилипанию бетона. Помимо этого, смазки имеют в своем составе замедлители схватывания, которые также способствуют устранению сцепления и облегчают распалубку.

В состав смазок входят пластификаторы, которые уменьшают поверхностную пористость и улучшают качество поверхности бетона.

В смазках ЭСО-ГИСИ гидрофобизаторами являются отработанное масло и полиэтиленовая эмульсия, замедлителями - раствор сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ), а пластификаторами - растворы СДБ и омыленного пека (табл. 3.9).

**Таблица 3.10 – Составы комбинированных смазок типа ЭСО-ГИСИ**

Тип смазки	Количество компонентов, масса частей							Примечание
	Отработанное масло	Известковое молоко	Вода	10% раствор азотнокислого цинка	Эмульсия «Оксален-30»	3% раствор СДБ	3% раствор добавки ЦНИПСа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЭСО-24	2,5	1,2	-	4,0	-	-	-	Для фанерной и досчатой опалубки
ЭСО-25	2,5	1,25	-	1,25	-	0,5	-	Для деревянной и металлической опалубки
ЭСО-27	2,5	1,2	-	1,0	0,5	1,0	-	-
ЭСО-27А	2,5	1,2	0,5	1,0	0,25	-	1,0	-
ЭСО-29	2,5	1,0	-	1,0	0,15	-	0,5	-

Расход смазок зависит от вида материала опалубки и способа их нанесения (табл.3.11).

**Таблица 3.11 – Расход смазки**

Вид опалубки	Расход смазки, кг	
	На 1м <sup>2</sup> формирующей поверхности опалубки	На 1м <sup>3</sup> монолитного железобетона
Стальная	0,20-0,35	2,0-3,5
	0,45-0,55	4,5-5,5
Дощатая	0,40-0,55	4,0-5,5
	0,60-0,70	6,0-7,0
Фанерная	0,35-0,50	3,5-5,0
	0,50-0,65	5,0-6,5
Пластмассовая	0,10-0,15	1,0-1,5
	0,35-0,40	3,5-4,0

*-В числителе - расход при нанесении пневмораспылителем, в знаменателе - при нанесении вручную кистью или валиком.*

Составы смазок влияют на способы их приготовления. Различают способы приготовления с механическим, пневматическим, ультразвуковым и комбинированным перемешиванием компонентов.

Механический и пневматический способы для приготовления смазок, компоненты которых перемешиваются относительно легко, например, смазки типа суспензий, растворов нефтепродуктов или смазки вскрытатели.

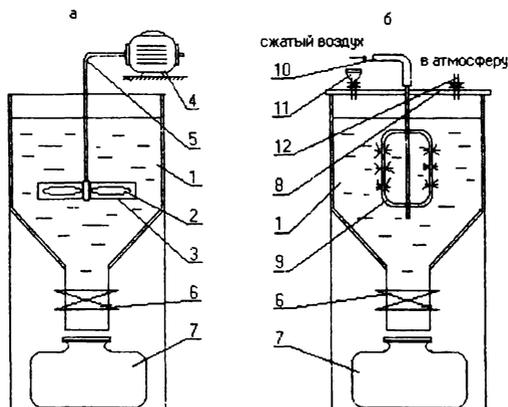
Механические (рис. 3.15 а) и пневматические смесители (рис. 3.15.б) относительно просты по конструкции и могут быть изготовлены в любой механической мастерской. Сменная производительность таких смесителей колеблется от 150 до 600кг готовой смазки. Такие смесители могут быть установлены на трестовских технологических линиях по приготовлению смазок (УПТК треста) или непосредственно на строительных объектах.

Промышленностью выпускаются более мощные смесители (0,2-(0,6м<sup>3</sup>/ч) с механическим перемешиванием (СМЖ-18); с комбинированным (механическим и ультразвуковым) перемешиванием (УГДС-300), которые монтируют на заводах ЖБИ, ЖБК, КПД, по кооперации снабжающие смазками и строительные организации.

Смазки на стройке наносят на опалубку пневматическим пистолетом-распылителем, с помощью специального рольгангового устройства, валиками или кистями. Однако в последнем случае расход смазки за счет увеличения толщины ее пленки и потерь возрастает на 25-30%.

Хороший эффект дают антиадгезионные защитные покрытия. Их наносят на формирующие поверхности щитов при их изготовлении, и они выдерживают 20-35 циклов без повторного нанесения и ремонта. Такие покрытия полностью устраняют прилипание бетона к опалубке, улучшают качество его поверхности, а также защищают деревянную опалубку от намокания и коробления, а металлическую - от коррозии.

Для металлических щитов в качестве антиадгезионного покрытия рекомендуется эмаль СЭ-3, в состав которой входит эпоксидная смола (4-7 мас.ч), свинцовый глет (2-4 мас.ч) и полиэтиленполиамин (0,4-0,7мас.ч). Сметанообразную пасту из этих компонентов наносят на тщательно очищенную и обезжиренную поверхность кистью или шпателем. Покрытие твердеет при 80-140°С в течении 2,5-3,5 ч. Оборачиваемость такого покрытия достигает 50 циклов без ремонта.



**Рис. 3.15. Смесители для приготовления смазок.**

а) - смеситель механического действия; б) - смеситель барботерного типа.  
 1 – бак, 2 - мешалка, 3 – ограждение, 4 - электродвигатель, 5 - гибкий вал,  
 6- кран, 7 – емкость, 8 - крышка, 9 - змеевик с перфорацией, 10 - шланг,  
 11 – воронка, 12-трубка для выброса сжатого воздуха.

Для дощатой и фанерной опалубки в ЦНИИОМТП разработано покрытие на основе фенолформальдегида. Его напрессовывают на поверхность щитов при давлении 0,3МПа и температуре +80°С. Это покрытие полностью устраняет прилипание бетона к опалубке и выдерживает до 35 циклов без ремонта.

Несмотря на относительно высокую стоимость, антиадгезионные покрытия выгоднее смазок в связи с их многократной оборачиваемостью. Целесообразно применять щиты, палубы которых выполнены из гетинакса, а каркас - из металлических уголков. Такая опалубка износоустойчива, легко снимается и обеспечивает хорошее качество бетонных поверхностей.

## 4. АРМАТУРНЫЕ РАБОТЫ.

### 4.1. Классификация и сортамент арматурной стали

Арматурой называют стальные круглые стержни, прокатные профили и проволоку, а также изделия из них, размещаемые в бетоне для восприятия изгибаемыми частями железобетонных конструкций, растягивающих и знакопеременных усилий, а также в центрально нагруженных колоннах и стойках - сжимающих усилий.

В зависимости от назначения различают рабочую, распределительную и монтажную арматуру. Рабочая арматура воспринимает усилия, возникающие в конструкции под действием нагрузок; распределительная - обеспечивает совместную работу элементов рабочей арматуры; монтажная - предназначена для сборки отдельных арматурных элементов в каркас.

Арматурную сталь, применяемую для армирования железобетонных конструкций, классифицируют по следующим признакам: основной технологии изготовления, профилю, условиям применения и виду поставки.

В зависимости от основной технологии изготовления арматурную сталь разделяют на стержневую, получаемую горячей прокаткой стали, и проволочную, получаемую в результате волочения стали в холодном состоянии.

По профилю стержневую и проволочную арматурную сталь разделяют на гладкую и периодического профиля. Последняя имеет сцепление с бетоном благодаря наличию ребер на её поверхности.

Стержневую арматурную сталь по виду последующей упрочняющей обработки разделяют на горячекатанную; упрочненную в холодном состоянии; термически упрочненную после проката. Кроме того, в зависимости от гарантируемых механических свойств, стержневую арматурную сталь делят на классы (табл. 4.1; 4.2;4.3). Класс арматуры характеризует ее механические свойства и обозначается буквой S и числом, соответствующим нормативному сопротивлению арматуры в МПа (Н/мм<sup>2</sup>). В проектной документации, нормативной, технической и учебной литературе, выпущенной до 2003 г., класс арматуры имел другие обозначения.

**Таблица 4.1 – Соответствие обозначений классов арматуры**

Класс арматуры (2003 г.)	Обозначение согласно изменению №4 к СНиП 2.03.01 (2001г)	Обозначение согласно СНиП 2.03.01 (1986 г.)
S240	A240	A-1
S400	A400	A-111
S500	A500 B500	- Bp-1
S800	A800 d7,d8 B-11 d6,d7,d8 Bp-11	A-Y d7,d8 B-11 d6,d7,d8 Bp-11
S1200	A1200 d5,d6 B-11 d4,d5 Bp-11 d9,d12,d15 K-7	A-Y1 d5,d6 B-11, d4,d5 Bp-11 d9,d12,d15 K-7
S1400	d3,d4 B-11 d3 Bp-11 d6 K-7, K-19	d3,d4 B-11 d3 Bp-11 d6 K-7, K-19

Горячекатанная арматурная сталь гладкого профиля имеет класс А-I (ГОСТ 5781). Этот ГОСТ сегодня пока действует на территории России и других стран СНГ кроме Республики Беларусь. Класс горячекатаной арматурной стали периодического профиля может быть определен по рисунку поперечных выступов на поверхности стержня и по окраске концов стержней. Стержни, имеющие на поверхности выступы расположенные по винтовой линии, изготовлены из стали класса А-II. У стержней из стали классов А-III и А-IV выступы расположены под углом друг к другу, в "елочку". Концы стержней стали класса А-IV окрашивают в красный цвет, А-V - в синий, и А-VI - в зеленый. В настоящее время в соответствии с ГОСТ 5781-94 арматурная сталь выпускается с серповидным профилем класса А-400...А1200 с окраской торцов в белый, синий, желтый, красный и зеленый цвета. С 1990 г. многие металлургические заводы стран СНГ, производящие арматурный прокат для строительства, начали массовое освоение зарубежных рынков сбыта своей продукции, ориентируясь при этом на требования стандартов стран-покупателей арматурной стали.

Основные производители арматуры в СНГ перешли на выпуск нового проката с периодическим серповидным профилем европейского образца по СТО АСЧМ 7-93 и ГОСТ 1088-94, согласно норм EN-10080-1 (1998). Многочисленными же исследованиями доказано, что в массивных монолитных конструкциях с большой толщиной защитного слоя бетона экономически целесообразно применять кольцевой профиль из-за его высокой анкерующей способности. В тонкостенных же конструкциях, особенно в предварительно напряженных, объективно применение арматуры серповидного профиля для обеспечения высокой степени их эксплуатационной надежности. В НИИЖБ было найдено компромиссное решение между вышеуказанными профилями - чередование по длине стержня вершин смежных серповидных поперечных ребер во взаимно перпендикулярных осевых плоскостях. Подобная арматура выпускается на Белорусском металлургическом заводе с 2003 г. Эта арматура ориентируется на СТО АСЧМ 7-93 «Прокат периодического профиля из арматурной стали». Этот нормативный документ распространяется на классы А400С, А500С, А600С (ГОСТ 5781) – стержневую и бунтовую арматуру, производимую как горячекатаную без последующей обработки; термомеханически упрочненную в потоке станов; механически упрочненную в холодном состоянии.

Металлургические заводы стран СНГ производят строительную арматуру диаметром от 6 до 40 мм и пределом текучести от 235 до 1200 Н/мм<sup>2</sup>. Поставка арматуры осуществляется в бунтах и прутках мерной и немерной длины.

Согласно норм СНБ 5.03.01-02. «Конструкции бетонные и железобетонные». -Мн.:Стройтехнорм, 2002 г. в качестве ненапрягаемой арматуры железобетонных конструкций рекомендуется применять гладкую стержневую арматуру класса S240 и арматуру периодического профиля классов S400, S500. Уменьшение классов ненапрягаемой арматуры до двух соответствует общей тенденции, имеющей место в странах Европы и Америки.

Характеристики ненапрягаемой арматуры согласно СНБ 5.03.01-02 и СТБ 1706-2006 «Арматура ненапрягаемая для железобетонных конструкций» приведены в таблице 4.2

**Таблица 4.2 – Характеристики ненапрягаемой арматуры**

Класс арматуры	Номинальный диаметр	Вид поверхности	$K=ftk/fyk$	Нормативное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	Расчетное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	Расчетное сопротивление поперечной арматуры Н/мм <sup>2</sup>
S240	5,5-40	гладкая	1,08	240	218	174,4× 157
S400	6,0-40	период. профиля.	1,05	400	365	290× 263
S500	3,0-40	гладк. и период. профиля	1,05	500	450	360× 324

× - для случая применения в вязаных каркасах.

В качестве напрягаемой арматуры предварительно напряженных конструкций в соответствии с СНБ 5.03.01-02 и СТБ 1706-2006 «Арматура напрягаемая для железобетонных конструкций» применяют стержни и канаты классов S800, S1200, S1400. По способу производства арматура может быть горячекатаной, термомеханически упрочненной и холоднодеформированной. Требования к механическим свойствам арматуры регламентируются соответствующими стандартами

**Таблица 4.3 – Характеристики напрягаемой арматуры**

Класс арматуры	Номинальный диаметр, мм	$K=ftk/fyk$	Нормативное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	Расчетное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>
S800	10-32	1,1	800	665
S1200	6-32	1,1	1200	1000
S1400	3-15	1,1	1400	1165

В мировой практике, в частности, монолитные безбалочные перекрытия пролетом более 6 м, как правило, изготавливают из предварительно напряженного бетона. При этом используют арматуру как со сцеплением с бетоном, так и без сцепления. Причем последняя как более простая в производстве применяется в больших объемах. Сегодня почти 100% всех зданий из монолитного железобетона в США строятся с использованием систем преднапряжения. Системы натяжения на бетон «без сцепления» очень просты и мало отличаются от обычного армирования как по трудоемкости, так и по сложности. Поврежденные же канаты в процессе эксплуатации после аварийных воздействий могут быть легко извлечены и заменены на новые без дополнительных повреждений здания.

Другой важнейшей проблемой является стыкование арматуры для монолитного железобетона. Применяются три способа соединения: нахлестка (без сварки), дуговая сварка или механические соединения. До сих пор общепринятым способом пока остается сварка: ручная дуговая протяженными швами, внахлестку и с накладками, ванношовная и многослойными швами на стальной скобе-накладке, а также дуговая в крест

Для стыкования арматурной стали классов S240-S500 эти виды дуговой сварки могут применяться практически без ограничения, но требуют значительного расхода электроэнергии и трудозатрат, а также жесткого систематического контроля.

Нахлестка же длиной от 20d до 40d, в зависимости от условий работы арматуры и количества стыков в одном сечении по данным исследований, выполненных в НИИЖБ (г Москва), приводит к потере от 3,5 до 27% арматуры при ее диаметрах от 10 до 40 мм и длине стыкуемых стержней 6 м. При этом наибольшие потери металла имеют место при стыковании стержней больших диаметров: 32-40 мм – соответственно до 22-27%. Однако проблема этим не ограничивается. Для гарантии прочности такое соединение требует значительного расхода поперечной арматуры, а минимальные величины объемного армирования должны составлять, например, не менее 0,01-0,016 при прочности бетона 42,3 и 341,5 Н/мм<sup>2</sup>. Главным требованием монолитных железобетонных конструкций является эксплуатационная безопасность здания. Поэтому в большинстве стран мира, в том числе в Великобритании, США, Германии, России для стыкования арматуры диаметром 25-40 мм применяют механические соединения, гарантирующие надежность сооружения. В частности в НИИЖБ разработаны и проведены испытания механические опрессованные соединения, винтовые соединения с конусной резьбой и с цилиндрической резьбой.

В Европе сегодня развивается направление по выпуску холоднодеформированной арматуры диаметром до 20 мм в бунтах. Она имеет более высокие прочностные свойства и коррозионную стойкость, выгодно отличаясь от горячекатанной и по внешнему товарному виду. Основным нормативным документом на эту арматуру является DIN 488. Арматура выполняется круглого сечения с нанесенным трехсторонним рифлением по периметру сечения. В Беларуси производство холоднодеформированной арматуры начато ООО «Строительные ресурсы» по патенту №612 ВУ от 04.12.2001. На его основе разработаны и внедрены технические условия ТУ РБ 190266671.001-2002, внесенные в строительные нормы РБ «Бетонные и железобетонные конструкции» (СНБ 5.03.01-02, Мн. 2003, Министерство архитектуры и строительства, РУП «Стройтехнорм», с.139).

**Таблица 4.4 – Механические свойства арматурной стали класса А. (ГОСТ 5781)**

Класс арматурной стали ГОСТ 5781-82	Номинальный диаметр стержней не менее, мм.	Временное сопротивление, не менее, МПа	Предел текучести, не менее, МПа	Относительное удлинение при разрыве не менее, %	Угол загиба в холодном состоянии при толщине оправки, С
A – I	6-40	380	240	25	180°, C=0.5d
A – II	10-80	500	300	19	180°, C=3d
A – III	6-40	600	400	14	90°, C=5d
A – IV	10-22	900	600	6	46°, C=5d
A – V	10-22	1050	800	7	45°, C=5d
Aт – IV	10-40	900	600	8	45°, C=5d
Aт – V	10-40	1000	800	7	45°, C=5d
Aт – VI	10-22	1200	1000	6	45°, C=5d
Aт – VII	10-32	1400	1200	5	45°, C=5d

**Таблица 4.5 – Классификация арматурной стали**

Название	Класс ГОСТ 5781-82	Вид поставки
Стержневая горячекатаная гладкая	A-I	Диаметром 6... 14 мм – в мотках (бухтах)
Стержневая горячекатаная периодического профиля	A-II	Диаметром 10... 12 мм – в мотках (бухтах); 10... 80 мм – в прутках
То же	A-III, A-IV, A-V, Ат-IV, Ат-V, A-Ат-VII	В мотках
Проволока обыкновенная гладкая	B-I	То же
Проволока обыкновенная периодического профиля	Bp-I	То же
Проволока высокопрочная гладкая	Bp-II	То же
Проволока высокопрочная периодического профиля	Bp-II	То же

В стадии экспериментирования для армирования бетонных конструкций, находящихся в условиях агрессивной среды, применяют стекло-пластиковую арматуру в виде пучка волокон, скрепленных полимерным связующим. По прочности стекловолокно не уступает высокоуглеродистой стальной проволоке (1800...2200 МПа) при значительно меньшей (в 3-5 раз) средней плотности материала. Однако модуль упругости волокна (до 80000 МПа) ниже, чем у стали.

Для изготовления арматуры железобетонных конструкций применяют низкоуглеродистую, средне- и высокоуглеродистую сталь. Низкоуглеродистая сталь содержит менее 0,25% углерода, среднеуглеродистая - 0,25...0,6%, высокоуглеродистая - 0,6...2%. Количество углерода в стали влияет на её свойства.

**Таблица 4.6 – Масса горячекатанной круглой и квадратной арматурной стали**

Диаметр (сторона квадрата), мм	Теоретическая масса 1 погонного метра, кг		Диаметр (сторона квадрата), мм	Теоретическая масса 1 погонного метра, кг	
	круглой	квадратной		круглой	квадратной
1	2	3	4	5	6
			32	6,31	8,04
5	0,154	0,196	34	7,13	9,07
6	0,222	0,283	36	7,99	10,17
7	0,302	0,385	38	8,90	11,24
8	0,395	0,502	40	9,86	12,56
9	0,499	0,636	45	12,48	15,9
10	0,616	0,785	48	14,20	18,09
11	0,746	0,950	50	15,42	19,62
12	0,888	1,13	52	16,67	21,23
13	1,04	1,33	55	18,65	23,75
14	1,21	1,54	58	20,74	26,40
15	1,39	1,77	60	22,19	28,26
16	1,58	2,01	63	24,47	31,16
17	1,78	2,27	65	26,05	33,17
18	2,00	2,54	70	30,21	38,46
19	2,23	2,85	75	34,68	44,16
20	2,47	3,14	80	39,46	50,24
21	2,72	3,46	85	44,54	56,72
22	2,98	3,8	90	49,94	63,58
24	3,55	4,52	95	55,64	70,85
25	3,85	4,91	100	61,65	78,50
26	4,17	5,3			
28	4,83	6,15			
30	5,55	7,06			

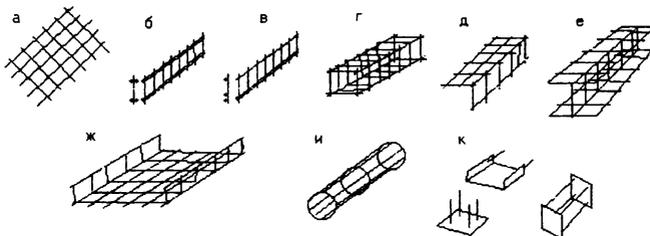
С увеличением содержания углерода прочность и твердость стали увеличивается, при этом она становится более хрупкой и хуже сваривается. В целях улучшения некоторых свойств в сплав дополнительно вводят так называемые легирующие добавки (хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий и др.), иногда 3...5 видов металла. Легированную сталь получают также увеличением содержания в сплаве кремния и марганца. Легированная сталь обладает в одних случаях повышенной прочностью, в других - повышенной твердостью, коррозионной стойкостью.

По суммарному содержанию легирующих добавок сталь делят на три группы: низколегированная - до 5%; среднелегированная - 5...10%; высоколегированная - свыше 10%. Содержание различных элементов в стали (ее химический состав) отражает его марка.

В стандартах и в написании марок стали приняты следующие обозначения металлов, добавляемых в сплав: Г – марганец, С - кремний, Т - титан, Ц - цирконий, М - марганец, Х - хром. Первые цифры марки указывают содержание элемента, соответствующего этому обозначению, в процентах. Отсутствие цифры указывает, что содержание элемента не превышает 1%. Например, марка арматурной стали 35ГС обозначает, что среднее содержание в ней углерода составляет 0,35%, а марганца и кремния - не более 1%

#### 4.2 Арматурные изделия.

Основными арматурными изделиями являются рулонные, плоские и гнутые сетки и каркасы, пространственные каркасы, закладные детали (рис. 4.1). Сварные сетки для армирования железобетонных конструкций в зависимости от поставки применяют рулонные (при диаметре продольных стержней до 7 мм) или плоские (при диаметре продольных стержней 8 и более мм). Сетки изготавливают с прямоугольным контуром и взаимно перпендикулярным расположением стержней. Допустимое расстояние между осями стержней одного направления должно быть 5мм. Ширина в рулонных сетках в осях крайних продольных стержней не превышает 3500 мм, плоских сеток не превышает 12 м. Масса рулона сетки - по 100-150 кг. В целях экономии металла поперечные стержни следует располагать с переменным шагом.



**Рисунок 4.1 – Виды арматурных изделий.**

- а - плоская сетка; б, в - плоские каркасы; г - пространственный каркас;  
 д - пространственный каркас таврового сечения; е - то же таврового сечения;  
 ж - гнутая сетка; и - то же криволинейного сечения; к - закладные детали.

Для приготовления тонкостенных армоцементных конструкций выпускаются тканые сетки с ячейками 5—20 мм из тонкой проволоки диаметром 0,7-1,65 мм (табл. 4.7).

Расчетное сопротивление растянутой арматуры тканых сеток при  $\mu \leq 2,5\%$  и сжатой при  $\mu \leq 1\%$  равно 210-140 МПа.

Плоские каркасы выпускают в виде относительно узких и длинных изделий. Они состоят из двух-четырех продольных рабочих стержней и соединяющих их поперечных распределительных стержней. Продольные стержни могут быть спаренными и располагаются с одной или с двух сторон по отноше-

нию к поперечным. Шаг продольных и поперечных стержней целесообразно назначать кратным 50 мм. В целях экономии металла поперечные стержни располагаются с переменным шагом.

**Таблица 4.7 – Основные характеристики тканых сеток.**

Номер сетки	Диаметр проволоки, мм	Площадь сечения проволоки, см <sup>2</sup>	Масса 1м <sup>2</sup> , кг.	Количество проволок на 1 м, шт.	Процент армирования $\mu$ , %, при одном слое сетки на 1 см толщины конструкции
5	0,7	0,00385	1,1	180	0,60
2	0,7	0,00385	0,9	150	0,58
3	1,2	0,01131	2,7	140	1,58
4	0,7	0,00385	0,8	130	0,50
7	1,2	0,01131	2,3	120	1,36
8	0,7	0,00385	0,7	110	0,49
8	1,2	0,01131	2,1	115	1,24
9	1,0	0,00785	1,3	100	0,78
10	1,0	0,00785	2,1	91	0,71
11	1,2	0,01131	1,5	82	0,99
12	1,2	0,01131	1,4	76	0,87
20	1,6	0,0201	1,5	46	0,99

Пространственные каркасы различных сечений - замкнутые, прямоугольные и криволинейные, с переменным сечением по длине и т. д. - собирают из плоских каркасов или изготавливают путем сгиба плоских сеток. Использование таких изделий позволяет значительно сократить число типоразмеров и улучшить технологичность изготовления арматурных изделий.

Для армирования железобетонных труб и других криволинейных конструкций арматурные каркасы изготавливают на специальных установках намоткой по спирали и приваркой арматуры на продольные стержни.

В строительстве иногда применяют несущие арматурные каркасы, в которых используют жесткие прокатные профили различного сечения (уголки, швеллера, двутавры и т. д.). Применение жестких арматурных каркасов позволяет отказаться от лесов и других поддерживающих конструкций опалубки.

Металлические закладные детали предназначены для соединения железобетонных конструкций, в том числе монолитных со сборными (например, навесных панелей с монолитными стенами и перекрытиями). Закладные детали различной конфигурации выполняют в основном из стальных пластин или прокатных профилей, которые с помощью анкеров из стержневой арматуры обеспечивают соединение стыкуемых железобетонных конструкций.

Для предварительного напряжения железобетонных конструкций в построечных условиях применяют арматуру в виде отдельных стержней, пучков, канатных прядей и канатов.

Нераскручивающиеся арматурные, стальные спиральные канаты используют в качестве напрягаемой арматуры для изготовления предварительно напряженных конструкций, в основном конструкций покрытий больших пролетов. Канаты бывают одно- и двухпрядевые из 7-ми и 19-ти проволочных нитей. Основные механические свойства канатов приведены в таблице 4.8.

**Таблица 4.8 – Механические свойства канатов.**

Условный диаметр каната, мм	Относительное удлинение перед разрывом, %	Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа, не менее		Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа, не менее	
		высококачественные	I категории	высококачественные	I категории
4,5	3	19,0	19,0	16,2	15,2
6,0	3	18,5	18,5	15,7	14,8
7,5	4	18,0	18,0	15,3	14,4
9,0	4	18,0	17,5	15,3	14,0
12,0	4	17,5	17,0	14,8	13,6
15,0	4	17,0	16,5	14,2	13,2

Для изготовления арматурных канатов применяют стальную проволоку круглого сечения без покрытия и оцинкованную. По временному сопротивлению проволока делится на 14 маркированных групп от 107 до 2352 МПа.

### **4.3. Изготовление ненапрягаемой арматуры**

Современная организация арматурных работ основывается на централизованной заготовке арматуры в цехах заводов железобетонных изделий или на специализированных арматурно-сварочных заводах. В исключительных случаях изготовление арматуры выполняется на строительной площадке. Механизированную заготовку арматуры осуществляют на специальных станках, предусматривая следующие основные технологические операции: очистку, правку, резку, гнутьё и сварку арматуры. В арматурных цехах обычно создают технологические линии по изготовлению легкой и тяжелой арматуры, требующие различного оборудования. К легкой арматуре относят арматурную сталь диаметром до 12 мм, поставляемую в мотках (бухтах) массой 80...150 кг, к тяжелой - стержневую сталь, поставляемую в прутках, связанных в пачки массой до 5 т, диаметром свыше 12 мм.

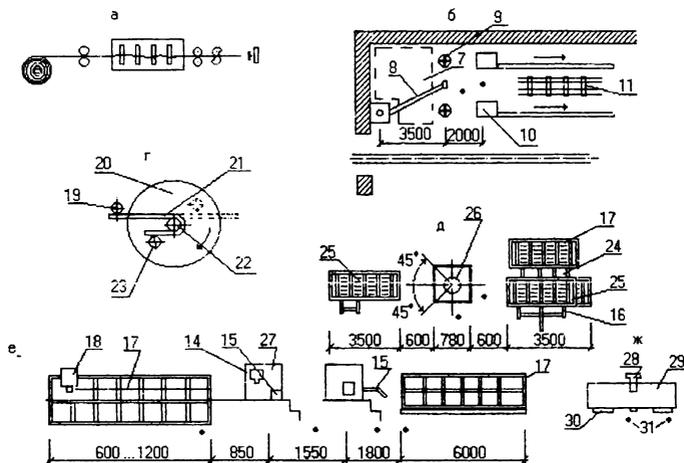
Легкую арматуру обрабатывают на автоматических правильно-отрезных станках, с помощью которых разматывают мотки проволоки, очищают её от ржавчины, выпрямляют и режут на стержни заданной длины (рис.4.2.а).

Правильно-отрезной станок обслуживают два рабочих (рис.4.2.б). Арматурщик III разряда заправляет стержень в станок, регулирует плашки правильного барабана и механизм резки, а арматурщик II разряда устанавливает мотки арматуры на бухтодержатель, помогает заправлять стержни и относит нарезанную продукцию.

Тяжелую арматуру при наличии искривлений правят на приводных станках для гнутья или вручную на верстаках, заводя стержень между штырями правильной плиты, очищают механическими щетками, режут с помощью приводных пресс-ножниц (рис. 4.2 в). На рабочем месте для резки стержней стали устанавливают роликовый стол с отмеривающим устройством и передвижным упором. У станка работают два арматурщика III и II разряда: подручный II разряда подает стержни на роликовый стол, арматурщик III разряда устанавливает их по мерной линейке и вкладывает между ножами (по одному или несколько в зависимости от диаметра). Отрезные стержни подручный перекладывает на стеллаж, а обрезки падают через лоток в ящик.

Гнутьё арматуры выполняют при заготовке отдельных стержней, предназначенных для изготовления каркасов, а также для придания готовым сет-

кам П-образного профиля на гибочных станках. Рабочий орган станка для гнутья стержней - диск с центральным и гибочным пальцами, вращающийся в горизонтальной плоскости. К станине станка прикрепляют неподвижно упорный палец. Изгибаемый стержень (или несколько) в зависимости от диаметра укладывают вдоль станка между тремя пальцами: центральным, гибочным и упорным. При вращении диска гибочный палец изгибает стержень вокруг центрального пальца, а упорный палец в это время удерживает его от поворота (рис. 4.2 д). Рабочее место у станка оборудуют роликовыми столами и стеллажами (рис. 4.2 д). Станок обслуживает звено арматурщиков (два арматурщика II и III разрядов).



**Рисунок 4.2 – Изготовление ненапрягаемой арматуры.**

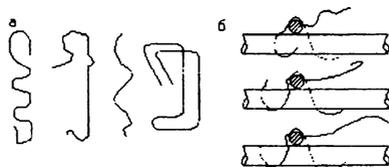
- а) - схема механизма правки и резки правильно-отрезного станка, б) - организация рабочего места у правильно-отрезного станка, в) - организация рабочего места при резке стержневой арматуры, г) - схема гибки арматуры на механическом станке, д) - организация рабочего места у станка для гибки арматуры, е) - схема технологической линии непрерывной безотходной сварки и резки арматурной стали, ж) - организация рабочего места у одноточечной электросварочной машины. I - бухта арматуры, 2 - нажимные ролики, 3 - правильный барабан с плашками., 4 - тянущие ролики, 5 - режущие ролики, 6 - упор с включателем, 7 - место для складирования бухт арматуры, В - консольный кран, 9 - бухтодержатель, 10 - правильно-отрезные станки, II - стеллажи для нарезанных прутков, 12 - ящик для обрезков, 13 - лоток, 14 - станок для резки, 15 - откидной ролик, 16 - боковые стеллажи, 17 - роликовый стол, 18 - отмеривающие устройства с передвижным упором, 19 - упорный палец, 20 - рабочий диск, 21 - арматурный стержень, 22 - центральный палец, 23 - гибочный палец, 24 - промежуточные стеллажи, 25 - роликовые столы, 26 - станок для гнутья, 27 - машина для стыковой сварки, 28 - машина для точечной сварки, 29 - рабочий стол, 30 - ящик для стержней, 31 - места рабочих.

Сварку арматуры осуществляют различными способами. При удлинении стержней применяют контактную стыковую сварку (рис. 4.2е). Зажатые в губках контактной стыковой машины торцы стержней с включением электродов

оплавляются, затем осаждаются до закрытия стыка. Пересекающиеся стержни в сетках и плоских каркасах соединяют контактной сваркой (рис. 4.2 ж). Для наращивания стержней при сварке сеток и каркасов пользуются электродуговой сваркой, а при стержнях диаметром более 20 мм применяют её разновидность - ванную сварку. Тяжелую арматуру заготовливают по схеме безотходной технологии, объединяя сварку и резку арматурных стержней в одну технологическую линию с роликовыми столами и агрегатами (рис.2.2 е). Вначале сваривают арматурные стержни контактной стыковой машиной в непрерывную плетть, а затем их режут согласно заданным размерам, что позволяет избавиться от обрезков металла и более экономно использовать производственную площадь цеха. В состав звена, обслуживающего технологическую линию, входят четыре человека: электро-сварщики V и IV разряда и арматурщики III и II разряда.

Сетки и каркасы из легкой арматуры шириной до 1200 мм сваривают контактными одноточечными сварочными машинами. Обслуживает машину электросварщик IV разряда и арматурщик II разряда. Сетки шириной 2700 мм и более сваривают автоматическими многоэлектродными контактными сварочными машинами.

При сложной конфигурации, затрудняющей электросварку, а также в условиях строительной площадки при изготовлении изделий из арматуры, исключающей применение электросварки, принимают вязку стержней вязальной проволокой диаметром 0,8...1,0 мм вручную. Для ускорения соединения стержней применяются пружинные стальные проволочные (или пластмассовые) фиксаторы (скрепы) диаметром 1,6-2,8 мм, с их помощью выполняются одно- и двухсторонние соединения (рис. 4.3), а также бетонные подкладки с пружинными скобами и металлические штампованные подставки.



**Рисунок 4.3 – Фиксаторы для связи арматурных каркасов.**  
а) - типы фиксаторов б) - последовательность установки фиксаторов.

Для изготовления фиксаторов используются штамповочные автоматы для централизованного изготовления в больших количествах, а также простейшие гибочные приспособления небольшой производительности для обеспечения потребностей строительных трестов. Фиксаторы, изготовленные автоматами для исключения запутывания, пакетируются путем их склеивания в блоки.

Стыковые соединения отдельных стержней из высокопрочной арматуры в длинные плетти осуществляются:

- на винтовых муфтах (для ликвидации люфта резьбового соединения муфты затягиваются контргайками или же зазор между муфтой и стержнем заполняют затворающими полимерными составами с наполнителем);
- на объемных гильзах, опрессованных на стержнях периодического профиля;
- внахлестку с перепуском арматуры на нормативную величину или с крючками.

#### **4.4. Армирование предварительно напряженных железобетонных конструкций**

Для армирования предварительно напряженных конструкций применяют стержни, проволоку и пакеты из неё, проволочные пучки и канаты. Используют два способа натяжения арматуры: натяжение на упоры и натяжение на бетон. В условиях строительной площадки чаще всего производят натяжение на бетон. При этом способе применяют арматуру из пучков проволок или канаты.

Для закрепления проволочной арматуры используют анкеры различной конструкции: конические, гильзовые, стаканные и глухие.

Для пропуска арматуры в процессе бетонирования конструкции устраивают каналы диаметром на 10-15 мм больше диаметра арматурного пучка (каната). При крупноразмерных конструкциях каналы выполняют путем закладки стальных тонкостенных гофрированных, остающихся в бетоне, труб. Каналообразователями также могут служить различные устройства в виде армированных резиновых шлангов, проволочной спирали со стальным сердечником и др. Во избежание сцепления бетона с наружной поверхностью каналообразователей их покрывают специальной смазкой и периодически проворачивают вокруг оси в течение первых 2-3 ч твердения бетона для облегчения последующего их извлечения. Стальные гофрированные трубы не извлекают, они остаются в бетоне. После набора бетоном заданной прочности осуществляется натяжение арматуры, которую предварительно протягивают через образованные для этой цели каналы. Для натяжения арматуры с упором на бетон используют гидравлические домкраты одиночного или двойного действия.

При помощи специальных установок в виде кольцевых захватов или стаканов анкеров и муфт конец арматуры соединяют со штоком домкрата, а противоположный конец арматуры закрепляют в канале при помощи зажима цапгового типа. Натяжение арматуры осуществляют ступенями по 3-5 МПа. Натяжение в арматуре доводят до значения на 10% выше проектного, после его снижают до проектного и приступают к закреплению арматуры со стороны домкрата путем её запрессовки в шайбе конической стальной пробкой. Таким образом, через опорные шайбы (плиты) усилие от натянутой арматуры передаётся на бетон. Затем через специально оставленные отверстия в канал с арматурой нагнетается раствор не ниже М300.

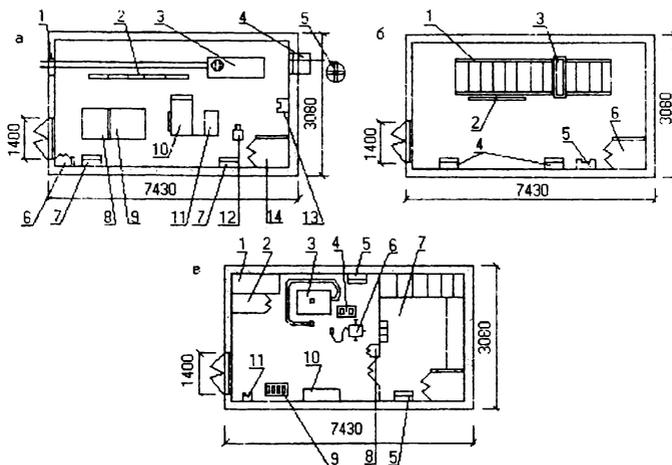
Для предварительного натяжения арматуры резервуаров, силосов и других цилиндрических сооружений используют специальные навивочные машины, которые обтягивают арматурой стенки сооружений снаружи после набора бетоном проектной прочности. Для защиты арматуры после её навивки наружные поверхности стен торкретируют или оштукатуривают высокопрочным цементным раствором.

В настоящее время находят применение и стальные канаты в пластиковой оболочке для преднапряженных конструкций без сцепления поверхности канатов с бетоном по длине конструкции, что существенно упрощает технологию работ на строительной площадке, а также позволяет замену стержней в процессе эксплуатации.

При строительстве вдали от баз строительной индустрии для механизации арматурных работ непосредственно на объектах строительства при возведении монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкций используют передвижные арматурные станции (ПАС) (рис.4.4).

ПАС состоит из трех передвижных инвентарных зданий - вагончиков и стенда для укрупнительной сборки армоконструкций. Здания и стенд размещают вблизи строящегося объекта в зоне работы строительного крана. Внутри первого здания смонтировано серийно выпускаемое оборудование для механической обработки арматурной стали, станки для гибки и резки стержней, ручные ножницы для резки стержней, правильно-отрезной станок. Во втором

здании установлено оборудование для изготовления плоских и гнутых арматурных сеток (специализированная контактно-сварочная машина, гибочная траверса). В третьем здании размещен технологический комплекс для общесварочных и ремонтных работ. ПАС обслуживается бригадой из четырех человек в составе двух сварщиков и двух арматуристов.



**Рисунок 4.4 – Передвижная арматурная станция (ПАС)**

а) - контейнер №1 ПАС с оборудованием для механизированной переработки арматуры.

1 - сборник арматуры, 2 - приемное устройство, 3 - правильно - отрезной станок, СМДЖ-357, 4 - ограждение пункта, 5 - размоточное устройство, 6 - шкаф для струбцин и других приспособлений, 7 - электрическая печь, 8 - станок для гибки арматуры С-1466, 9 - стол со шкафом, 10 - станок для резки прутковой арматуры СМ-3002,

II - стол со шкафом, 12 - ручные машины, 13 - электрошкаф, 14 - шкаф для комплекта инструмента.

б) - контейнер №2 ПАС.

I - стенд для изготовления контактной сваркой сеток и каркасов размером 6000\*1400 мм, 2 - гибочная траверса, 3 - портал со сварочными клещами тип МТП-806, 4 - печь электрическая, 5 - электрошкаф, 6 - шкаф для инструмента.

в) - контейнер №3 ПАС.

1 - стеллаж для хранения провода и приспособлений для ручной дуговой сварки, 2 - шкаф прокалки электродов, 3 - полуавтомат ПМП-6 (ПДГ-508), 4 - преобразователь сварочного тока ПСГ-500(ПДУ-508), 5 - электрическая печь, 6 - подвесная сварочная машина МТП-809У4 с клещами коаксиального типа, 7 - гардероб, 8 - электрошкаф, 9 - трансформатор сварочный ТД-500, 10 - верстак для ремонтных работ,

II - шкаф для инструмента

Основные технические данные ПАС.

Производительность, т/год .....	1000
Диаметры перерабатываемой арматуры, мм .....	5-40
Размеры изготавливаемых сеток, мм .....	6000*1400
Размеры изгибаемых сеток, мм .....	3500*1400
Мощность: общая электродвигателей, кВт.....	35
нагревателей, кВт.....	25
сварочного оборудования, кв* А.....	263
Масса общая, т .....	33,5

#### **4.5. Монтаж ненапрягаемой арматуры на объекте**

На складе арматурно-сварочного предприятия изделия должны быть подготовлены к транспортировке. Стержни связывают в пучки, сетки и каркасы - в пакеты массой 60 кг и более, опалубочно-арматурные блоки раскрепляют схватками. Каждую партию изделий снабжают биркой, в которой указывают наименование конструкции, номер чертежа и изделия, количество, массу и другие данные. На каркасах, в узлах сварки и в конструктивно прочных узлах блоков краской отмечают места строповки. Их следует размещать так, чтобы при подъеме не повредить конструкцию каркаса и придать ему положение, требуемое для установки.

Комплекты арматуры доставляют на объект автотранспортом или на железнодорожных платформах. Изделия, превышающие по длине кузов более чем на 1,5 м, перевозят на автомобилях с прицепом или полуприцепом. Крупные пространственные каркасы при необходимости разрезают на блоки, свариваемые в последующем на строительной площадке.

Транспорт с арматурой подают под крюк крана или на приобъектный склад, на котором рекомендуется иметь трехсменный запас арматуры. Складировать арматуру с учетом порядка подачи её к месту монтажа. Каркасы, подлежащие укрупнению, выгружают на площадку укрупнительной сборки, расположенную в зоне действия монтажного крана.

Для монтажа арматуры (при массе изделия более 100 кг) применяют обычно те же краны, которыми оборудован объект для ведения железобетонных работ.

Монтаж арматуры начинают после проверки опалубки (её прочности, устойчивости и соответствия проектным размерам). Если арматуру монтируют до установки опалубки (например, в фундаментах, колоннах, стенах и других конструкциях), надо актом зафиксировать правильность устройства основания, стыковых поверхностей и др.

Перед установкой каркаса ремонтируют повреждения, образовавшиеся при транспортировке. Опалубочно-арматурные блоки оснащают закладными и накладными деталями и болтами (согласно проекта), а также вкладышами фиксаторами, обеспечивающими правильное положение арматуры в опалубке. Размер вкладышей (бетонных) и фиксаторов из металла или пластмассы, устанавливаемых на арматурный каркас для обеспечения требуемого защитного слоя бетона, должен быть в фундаментах, бетонируемых по подготовке, не менее 35 мм, без подготовки - 70 мм. В колоннах и балках при диаметре стержней арматуры до 20 мм защитный слой должен составлять не менее 20 мм, а при большем диаметре стержней - до 30 мм. В плитах и стенах толщиной до 100 мм защитный слой 15 мм, а при толщине плит 50 мм - не менее 10 мм. Расстояние между стержнями продольной арматуры горизонтальных и наклонных элементов должно быть в свету не менее диаметра стержней и не менее 2 мм для нижней и 30 мм для верхней арматуры. Установленные арматурные изделия и конструкции должны соответствовать нормативным параметрам.

Арматурные сетки и каркасы фундаментов и фундаментных плит укладывают на подкладки, равные толщине защитного слоя. Нижнюю ступень фундамента ступенчатого типа армируют до установки опалубки верхней ступени. К сетке приваривают выпуски арматуры для крепления арматурного каркаса колонны.

Колонны армируют легкими каркасами, опуская их сверху в короб опалубки или завода сбoku при открытой одной стороне. Тяжелые несущие каркасы колонн устанавливают до сборки опалубки, закрепляя временными расчалками для обеспечения устойчивости, после чего выполняют опалубочные работы.

Балки, прогоны, ригели армируют готовыми сварными пространственными блоками или плоскими каркасами. Последние закрепляют в проектном положении приваркой поперечных прутков.

Армирование стен и перегородок осуществляют готовыми сетками, прикрепляя их к опалубке, установленной с одной стороны возводимой конструкции с помощью скруток. При армировании отдельными стержнями сначала устанавливают все вертикальные стержни, затем привязывают горизонтальные, начиная с самого нижнего и самого верхнего, затем - остальные.

**Таблица 4.9 – Требования при устройстве арматурных конструкций**

Параметр	Величина параметра, мм
1	2
Отклонение в расстоянии между отдельно установленными рабочими стержнями для: колонн и балок плит и стен фундаментов массивных конструкций	 ±10 ±20 ±30
Отклонение в расстоянии между рядами арматуры для: плит и балок толщиной дл 1 м конструкций толщиной более 1 м	 ±10 ±20
Отклонение от проектной толщины защитного слоя бетона не должно превышать: при толщине защитного слоя до 15 мм и линейных размерах поперечного сечения конструкции, мм: до 100 от 101 до 200 при толщине защитного слоя от 16 до 20 мм включительно и линейных размерах поперечного сечения конструкций, мм: до 100 от 101 до 200 от 201 до 300 свыше 300 при толщине защитного слоя свыше 20 мм и линейных размерах поперечного сечения конструкций, мм: до 100 от 101 до 200 от 201 до 300 свыше 300	  +4 +5  +4; -3 +10; -3 +10; -3 +15; -5  +4; -5 +8; -5 +10; -5 +15; -5

Армирование плит выполняют плоскими сварными или рулонными сетками, располагая их между балками или прогонами и опирая на бетонные прокладки через 0,8... 1,0 м.

Арматуру на объекте монтируют специализированные звенья в составе комплексной бригады, состав которой зависит от вида сооружения и применяемых арматурных изделий. При установке сеток и легких каркасов массой до 100 кг вручную звено состоит из трех арматурщиков III и II разрядов. Сетки и каркасы массой свыше 100 кг монтируют с помощью крана звено из четырех арматурщиков IV и II разрядов.

Установленную в проектное положение арматуру принимают, оформляя акт на скрытые работы.

## 5. БЕТОННЫЕ РАБОТЫ

### 5.1. Материалы для бетонных смесей.

#### 5.1.1. Вяжущие.

Согласно действующих стандартов цементы классифицируют по составу, виду клинкера, прочности при затвердении, скорости твердения, срокам схватывания и нормированию специальных свойств. В зависимости от содержания и вида активных минеральных добавок цементы на основе портландцементного клинкера по вещественному составу подразделяются на:

- портландцемент без активных минеральных добавок;
- портландцемент с активными минеральными добавками (не более 20%);
- шлакопортландцемент (с добавками гранулированного шлака более 20%);
- пуццолановый портландцемент (с активными минеральными добавками более 20%).

Цементы, приготовленные на основе глиноземистого клинкера, подразделяют на глиноземистый, высокоглиноземистый и гипсоглиноземистый.

По прочности при твердении цементы бывают высокопрочные (классов 52,5 и выше), повышенной прочности (класса 42,5), рядовые (классов 22,5; 32,5), низкомарочные (ниже 22,5).

По скорости твердения цементы делят на обычные с нормированием прочности в возрасте 28 сут, быстротвердеющие с нормированием прочности в возрасте 3 и 28 сут. и особобистротвердеющие с нормированием прочности в возрасте 1 сут. и менее.

По срокам схватывания цементы подразделяют на медленно схватывающиеся (начало схватывания более 1 ч 30 мин), нормально схватывающиеся (начало схватывания от 45 мин до 1 ч 30 мин) и быстро схватывающиеся (начало схватывания менее 45 мин).

Промышленностью освоен также ряд других вяжущих веществ: воздушные (гипсовые и магнезиальные, воздушная известь), которые, будучи смешанные с водой, твердеют и не теряют прочности во времени только в воздушной среде; гидравлические (романцемент, гидравлическая известь и смешанные цементы на их основе), способные твердеть как в воздушной, так и водной среде, кислотоупорные кварцевые кремнефтористые цементы, затворяемые водным раствором натрия или калия, шлакощелочные цементы и др. Рациональные области применения цементов показаны в тал. 5.1.

**Таблица 5.1 – Рациональные области применения цементов**

Классификационные признаки	Основное назначение	Допускается применение	Рекомендуется применять
1	2	3	4
<b>Вещественный состав</b>			
На основе портландцементного клинкера: портландцемент, портландцемент с минеральными добавками	Для бетонных, железобетонных сборных и монолитных конструкций	Для бетонов со специальными свойствами при условии дополнительной проверки специальных свойств	В бетонах и конструкциях со специальными свойствами без дополнительной проверки специальных свойств цемента

продолжение табл. 5.1.

1	2	3	4
Шлакопортланд-цемент	Для бетонных и железобетонных изделий, подвергаемых пропарке, монолитных массивных бетонных и железобетонных надземных и подводных конструкций при действии пресных и минеральных вод.	То же	Для морозостойких бетонов с морозостойкостью более 200, для тяжелых бетонов, твердеющих при температуре ниже +10°C при отсутствии обогрева; для конструкций, подвергаемых попеременному увлажнению и высыханию
Пуццолановый портландцемент	Для подземных и подводных конструкций, эксплуатируемых в условиях действия мягких пресных вод и при сульфатной коррозии	Для надземных конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности	В морозостойких бетонах; при твердении бетона в сухих жарких и зимних условиях; в условиях переменного увлажнения и высушивания.
<b>На основе глиноземистого клинкера:</b>			
Глиноземистый	Для быстротвердеющих бетонов, аварийно-ремонтных работ, жаростойких бетонов. работ в условиях сернистой агрессии		В массивных конструкциях и твердеющих при температуре +25°C.
Высокоглиноземистый	Для жаростойких бетонов	-	-
Гипсоглиноземистый	Для безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых бетонов, гидроизоляционных штукатурок.	Для надземных швов и раструбов при рабочем давлении до 1МПа, создаваемом в течение 24ч. с момента окончания зачеканки.	Для строительных работ при температуре ниже 0°C без обогрева. Для конструкций, эксплуатируемых при температуре более 80°C.
<b>Прочность при твердении:</b>			
Высокопрочных марок 550, 600 и более	Для бетонов классов С40/50 и более	Для бетонов классов С30/37 и С35/45	Для бетонов классов менее С30/37.
Повышенной прочности марки 500	Для бетонов классов С30/37 и С35/45, а также С20/25 и С25/30 при повышенной отпускной прочности	Для бетонов классов С12/15, С25/30 и С40/50	Для бетонов классов менее С12/15 и строительных растворов
Рядовые марки 400	Для бетонов классов С12/15; С25/30 и С8/10 при повышенной отпускной прочности	Для бетонов классов менее С12/15 и строительных растворов	Для бетонов классов С30/37 и более
Рядовые марки 300	Для бетонов классов не более С8/10 и строительных растворов	Для бетонов классов не более С16/20	Для бетонов классов более С16/20
Низкомарочные ниже марки 300	Для строительных растворов и бетонов классов менее С8/10	Для бетонов классов С12/15	Для бетонов классов более С12/15

продолжение табл. 5.1.

1	2	3	4
<b>Скорость твердения</b>			
Обычные	Для всех видов строительных работ, к которым не предъявляют особых требований по скорости твердения бетона	-	Для бетонов, растворов, изделий с ускоренным циклом твердения
Быстротвердеющие	Для бетонов сборных конструкций с повышенной отпускной прочностью и монолитных конструкций	Для бетонных и железобетонных конструкций	Для строительных растворов
Особобыстротвердеющие	Для аварийно-восстановительных работ; для бетонов которым предъявляют высокие требования по темпам начального твердения в нормальных условиях	Для сборных железобетонных конструкций с применением кратковременного пропаривания	Для монолитных бетонов и сборных железобетонных конструкций с применением пропаривания по обычным режимам
<b>Скорость схватывания</b>			
Медленносхватывающиеся	Для бетонов, растворов и изделий с длительным циклом транспортирования, укладки и формовки изделия	-	Для бетонов, растворов и изделий с нормальным и ускоренным циклом укладки и формования
Нормальносхватывающиеся	Для всех видов строительных работ, когда не предъявляют особых требований по срокам схватывания	-	Для бетонов, растворов и изделий с замедленным или ускоренным циклом укладки и формования
Быстросхватывающиеся	Для бетонов, растворов и изделий с ускоренным циклом укладки и формования	-	Для бетонов, растворов и изделий с нормальным и замедленным циклом укладки и формования.
<b>СПЕЦИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА</b>			
<b>Сульфатостойкость</b>			
Сульфатостойкий портландцемент и сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками	Для конструкций из сульфатостойкого и морозостойкого бетона	Для низкотермичного бетона	Для обычных бетонов, к которым не предъявляют требований по морозостойкости и сульфатостойкости
Сульфатостойкие шлакопортландцемент и пуццолановый портланд цемент	Для сульфатостойких бетонов	Для низкотермичного бетона	Для морозостойкого бетона и бетона, подвергаемого попеременному увлажнению и высушиванию без применения спец. мер

продолжение табл. 5.1.

1	2	3	4
<b>Объемная деформация при твердении</b>			
Безусадочные	Для бетонов, предназначенных для омоноличивания стыков		Для обычных бетонов
Расширяющиеся	Для бетонов, предназначенных для омоноличивания стыков и водонепроницаемых конструкций	Для бетонов, предназначенных для омоноличивания	Для обычных бетонов
Напрягающиеся	Для самонапряженных конструкций		То же
<b>Тепловыделение</b>			
Низкотермичные	Для низкотермичных бетонов		Для обычных бетонов
Умереннотермичные	Для умереннотермичных бетонов		То же
<b>Декоративные свойства</b>			
Белый и цветные	Для растворов и бетонов, предназначенных для архитектурно-отделочных работ		Для обычных бетонов

**Таблица 5.2 – Рациональные классы цементов для тяжелого бетона**

Класс бетона	C10/12,5 и ниже	C12/15 и C16/20	C18/22,5 C25/30	C28/35 и C32/40	C35/45 и выше
Класс цемента	22,5	32,5	32,5	42,5	52,5 и выш

Вид цемента обозначается с учетом класса по прочности, количества добавок, сроков твердения и пластификации. Пример условного обозначения портландцемента класса 42,5, с добавками до 20%, быстротвердеющего, пластифицированного: портландцемент 42,5-Д20-Б-ПЛ ГОСТ 10178-85.

### 5.1.2. Заполнители

Заполнители подразделяют на несколько групп. По размеру зерен: мелкие (пески) - 0,16...5,0 мм и крупные (гравий, щебень) - 5...150 мм.

По происхождению: природные, образовавшиеся в результате разрушения горных пород (природный песок, гравий), или полученные дроблением и рассевом горных пород (песок, щебень); искусственные, изготовленные из отходов промышленности (металлургические и топливные шлаки, золы и др.) и приготовленные специально (шлаковая пемза, керамзит, аглопорит и др.).

По плотности в сухом состоянии в зависимости от средней плотности: тяжелые - 2,0 г/см<sup>2</sup> и более, пористые - менее 2,0 г/см<sup>2</sup>

По составу материала: на минеральные и органического происхождения.

Заполнители для тяжелых бетонов. В качестве мелкого заполнителя применяют пески природные (в естественном состоянии, природные фракционированные, природные обогащенные, а также дробленые и дробленые фракционированные).

При подборе составов тяжелых бетонов с учетом свойств применяемых материалов и требований к бетонам и бетонным смесям руководствуются следующими данными:

Рекомендуемый зерновой состав песков тяжелых бетонов (ГОСТ 8736-93).

Размер отверстий контрольных сит, мм - 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16; менее 0,16.

Полные остатки на ситах, % по массе- 0; 0-20; 5-46; 20-70; 38-90; 90-100; 10-0.

Модуль крупности песка должен находиться в пределах 1,5 - 3,25, причем для бетона с прочностью 20 МПа и выше он должен быть не менее 2,0; а прочностью 35 МПа и выше - не менее 2,5.

Зерновой состав песка, характеризуемый модулем крупности, должен соответствовать стандартной кривой рассеивания (ГОСТ 8736-93).

В соответствие со стандартами- требованиями предусмотрено деление песка на группы по модулю крупности и полному остатку на сите с отверстиями 0,63 (табл. 5.3).

**Таблица 5.3 – Классификация песка по модулю крупности**

Группа песка	Модуль крупности	Полный остаток на сите 0,63, % по массе
Очень крупный	Свыше 3,5	Свыше 75
Повышенной крупности	Свыше 3,0 до 3,5	Свыше 65 до 75
Крупный	Свыше 2,5 до 3,0	Свыше 45 до 65
Средний	Свыше 2,0 до 2,5	Свыше 30 до 45
Мелкий	Свыше 1,5 до 2,0	Свыше 10 до 30
Очень мелкий	Свыше 1,0 до 1,5	До 10
Тонкий	Свыше 0,7 до 1,5	Не нормируется
Очень тонкий	До 0,7	Не нормируется

Содержание пылевидных и глинистых частиц не должно превышать:

- в природном песке повышенной крупности, крупном и среднем – 3%, а в мелком и очень мелком - 5%;
- в обогащенном песке крупном и среднем – 2%, мелком – 3%;
- в песке из отсевов дробления – 5%, а в обогащенном из отсевов дробления – 3%.

Насыпная плотность песка зависит от его пустотности, влажности и истинной плотности зерен песка. Истинная плотность песков колеблется в пределах 2,55...2,65 г/см<sup>3</sup>. Насыпная плотность колеблется в пределах 1500...1550 кг/м<sup>3</sup>.

Крупный заполнитель для тяжелых бетонов - щебень и гравий. Щебень получают дроблением изверженных или осадочных горных пород. Гравий получается путем естественного разрушения (выветривания) горных пород.

Щебень и гравий для тяжелых бетонов должен соответствовать действующим стандартам.

При приготовлении бетонов щебень, гравий и щебень из гравия применяют в виде раздельно дозируемых фракций размером (мм): 5...10, 10...20, 20...40, 40...70 и т.д. Для монолитных конструкций применяется крупный заполнитель размером зерен и более 70 мм. Зерновой состав крупного заполнителя должен соответствовать требованиям, приведенным в табл. 3.3.

Наибольший размер зерен заполнителей в бетонной смеси ограничивается рядом условий и должен быть следующим:

- при бетонировании плит - не более половины толщины плиты;
- при изготовлении железобетонных конструкций - не более 3/4 наименьшего расстояния в свету между стержнями арматуры;

- при бетонировании конструкций в скользящей опалубке - не более 1/6 наименьшего размера поперечного сечения бетонируемой конструкции;
- при подаче бетонной смеси по бетоноводам - не более 0,4 внутреннего диаметра бетоновода для гравия и 0,33 - для щебня;
- при подаче бетонной смеси по хоботам и виброхоботам - не более 1/3 их диаметра.

Содержание пластинчатых и игловатых зерен в щебне и гравии для тяжелых бетонов не должно превышать 35% по массе

Прочность материала исходной горной породы крупного заполнителя для тяжелых бетонов должна в 1,5...2,0 раза превышать требуемую прочность бетона.

Марка щебня (гравия) по прочности определяется косвенным путем испытания по дробимости при сжатии в цилиндре. Марка заполнителей для бетона (по дробимости в цилиндре) должна быть не ниже Др8 для бетонов с пределом прочности при сжатии 40 МПа и выше; Др12 - для бетонов с пределом прочности от 30 до 40 МПа; Др 16 - для бетонов с пределом прочности ниже 30 МПа.

Содержание в крупном заполнителе зерен слабых пород должно быть не более 10%. Содержание пылевидных и глинистых частиц не должно превышать 1% в щебне из изверженных и метаморфических пород, в щебне из гравия и в гравии всех видов тяжелого бетона. В щебне осадочных пород это содержание ограничено 2%, бетона прочностью 30 МПа и выше и 3% - для бетона прочностью менее 30%.

### **5.1.3 Вода для приготовления бетонных смесей**

Вода для приготовления бетонной смеси и поливки бетона(СТБ 1114-98) может быть любая (из хозяйственного водопровода, рек или естественных водоемов), имеющая водородный показатель pH более 4 и содержащая минеральных солей не более 5000 мг/л, в том числе не более 2700мг/л сульфатов (в пересчете на SO<sub>4</sub>)

Не разрешается применять болотные и промышленные сточные воды, а также воды, загрязненные примесями (кислотами, солями, маслом и т.п.) без их очистки. Морскую и другие воды с содержанием солей не более 3,4% (по массе) разрешается применять для приготовления бетонных смесей и поливки бетона массивных неармированных конструкций в тех случаях, когда может быть допущено появление высолов на их поверхности.

Пригодность воды устанавливается химическим анализом или сравнительными испытаниями прочности бетонных образцов (обычно в возрасте 28 дней при нормальном хранении), изготовленных на данной воде и на чистой питьевой. Вода считается пригодной, если приготовленные на ней бетонные образцы имеют прочность не ниже, чем у аналогичных образцов, приготовленной не чистой питьевой воде.

### **5.1.4 Добавки**

Для повышения подвижности бетонной смеси, экономии цемента и улучшения реологических свойств бетонной смеси и структурных свойств затвердевшего бетона применяют индивидуальные или комплексные добавки. Зависимости от их назначения добавки делятся на следующие группы:

- добавки-регуляторы схватывания цементного теста и твердения бетона и расствора, ускорители и замедлители схватывания, противоморозные добавки;

- добавки-регуляторы реологических свойств бетонных и растворных смесей (суперпластификаторы, пластифицирующие и стабилизирующие добавки);
- добавки-регуляторы структуры бетонов и растворов (пластифицирующие, воздухововлекающие, пено- и газообразующие, уплотняющие, гидрофобизирующие);
- добавки, улучшающие качество бетона и раствора (полимерные, повышающие водонепроницаемость, морозостойкость, воздухо- и газонепроницаемость, коррозионную стойкость стали);
- комплексные добавки различного назначения;
- тонкодисперсные минеральные добавки (добавки - заменители части цемента в бетонах и растворах, минеральные добавки - наполнители в бетонах и растворах, минеральные пластифицирующие добавки).

Для повышения подвижности бетонной смеси и прочностных характеристик бетона (или для экономии цемента) широко используют следующие добавки: супер- и гиперпластификаторы (С-3, ДФ-"Дорфен", 10-03, 20-03, 100-П, МФ-АР, МКФ-АР, НКНС, 40-03, ГП-1, СНПС и др.); водорастворимые препараты (ВРП-1, ВРП-31, ВРП-34, С-1); модифицированные лигносульфонаты (АСТМ, КТС, ХДСК-3, НИЛ-20, НИЛ-21), а также добавки АСТ (технические лигносульфонаты), УПБ (меласная упаренная последорожевая барда), ГЮЖ-II (метилсиликонат натрия), ТЭГ-1 (триэтилгликолевая смола) и др.

Для ускорения схватывания и твердения бетонной смеси используют добавки: ХК (хлористый кальций), НК (нитрит натрия), ННК (нитрит-нитрат натрия), СА (сульфат алюминия), П (поташ), ХН (хлористый натрий), ХЖ (хлорное железо), С-89 (полиамидная смола) и др.

Для снижения температуры замерзания воды в бетонных смесях применяют противоморозные добавки: П, ХК, НК, ННК, ННХК, М (мочевина). Для пеногазообразования в ячеистых бетонах используют добавки: С (сульфанол), Ж134-41 и Ж136-157Н (полигидросилоксаны), ПГЭН (этил-гидридсесквиоксан), ПАК, ПАП-1 (пудра алюминиевая), ССП (смолосопо-нитовый пенообразователь), ЖСП (жидкостекольный пенообразователь), ЮЖ (клей животный) и др.

## **5.2.Классификация и область применения бетонов**

Бетон - искусственный каменный материал, получаемый в результате затворения рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси вяжущего вещества, воды, добавок и заполнителей различного зернового состава. Применяемые в строительстве бетоны классифицируют по средней плотности, основному назначению и виду применяемых для их приготовления вяжущих, виду заполнителей и по структуре (табл. 5.6).

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона в зависимости от назначения и условий работы, в соответствии с СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» бетоны делятся на классы. Класс бетона по прочности на сжатие – это количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на сжатие, обозначаемая буквой С и числами, перед чертой выражающими значения нормативного сопротивления ( $f_{ck}$ , МПа), после черты – гарантированной прочности бетона ( $f_{c,cube}$ , МПа). При этом нормативное сопротивление осевому сжатию устанавливается при испытании призматиче-

ских образцов размерами 150x150x600 мм на осевое сжатие, а гарантированная прочность бетона – при испытании кубов с размером ребра 150 мм с учетом статистической изменчивости прочности с обеспеченностью 0,95.

Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие и его марками при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5% и характеризующем технологию бетонных работ как удовлетворительную, приведено в табл. 5.3.

Марки по морозостойкости для бетона конструкций, подвергающихся в увлажненном состоянии действию попеременного замораживания и оттаивания: F50, F75, F100, F200, F300, F400, F500, F600, F800 и F1000.

Марки по водонепроницаемости для бетона конструкций, к которым предъявляются требования ограничения проницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W16, W18, W20.

Установленные значения показателей качества бетона должны быть обеспечены в проектном возрасте, который указывают в рабочих чертежах и назначают в соответствии с нормами ориентирования в зависимости от условий твердения, способов возведения и сроков фактического нагружения конструкций. При отсутствии этих данных показатели качества бетона должны быть обеспечены в возрасте 28 суток.

**Таблица 5.4 – Соотношение между классами и характеристиками тяжелого бетона по прочности на сжатие**

По ГОСТ 26633-91	Класс бетона			Требуемая прочность бетона при подборе со- става, МПа	Ближайшая марка бетона
	Обозначение	По СНБ 5.03.01-02			
		Характеристики прочно- сти бетона, МПа.			
		f <sub>ck</sub>	f <sub>ck cube</sub>		
B10	C8/10	8	10	12,9	150
B12,5	C10/12,5	10	12,5	16,1	150
B15	C12/15	12	15	19,3	200
B20	C16/20	16	20	25,7	250
B22,5	C18/22,5	18	22,5	28,9	300
B25	C20/25	20	25	32,2	300
B27,5	C22/27,5	22	27,5	35,4	350
B30	C25/30	25	30	38,6	400
B35	C28/35	28	35	45,0	450
-	C30/37	30	37	47,6	500
B40	C32/40	32	40	51,4	500
B45	C35/45	35	45	57,8	600
B50	C40/50	40	50	64,3	600
B55	C45/55	45	55	70,7	700
B60	C50/60	50	60	77,1	800

Наряду с проектной маркой назначают отпускную, передаточную и распалубочную прочность.

Бетонные смеси в зависимости от показателя *удобоукладываемости* подразделяют на пять групп: сверхжесткие, жесткие, низкопластичные, пластичные и литые. Марки бетонных смесей по удобоукладываемости и соответствующие им значения жесткости и подвижности приведены в табл. 5.5.

**Таблица 5.5 – Марки бетонных смесей по удобоукладываемости**

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю	
	жесткости, с	подвижности (осадка конуса), см
<b>Сверхжесткие смеси</b>		
СЖ3	более 100	-
СЖ2	51-100	-
СЖ1	41-50	-
<b>Жесткие смеси</b>		
Ж4	31-40	-
Ж3	21-30	-
Ж2	11-20	-
Ж1	5-10	-
<b>Низкопластичные</b>		
П1	4 и менее	1-4
П2	-	5-9
<b>Пластичные</b>		
П3	-	10-15
П4	-	16-20
<b>Литые</b>		
П5	-	21 и более

По степени готовности бетонные смеси подразделяют на:

- бетонные смеси, готовые к употреблению (БСГ);
- бетонные смеси сухие (БСС).

При заказе бетонной смеси ее условное обозначение должно состоять из сокращенного обозначения бетонной смеси с указанием степени готовности, вида бетона, марки бетонной смеси по удобоукладываемости, а также класса бетона по прочности, марок по морозостойкости, водонепроницаемости, гарантированное достижение которых обеспечивает данная бетонная смесь, и средней плотности (для легкого бетона).

Например, бетонная смесь, готовая к употреблению, тяжелая, класса бетона на сжатие С20/25, марки по удобоукладываемости (подвижности), морозостойкости F200 и водонепроницаемости W4 обозначается следующим образом: БСГТ С20/25 П1 F200, W4 СТБ 1035-96.

**Таблица 5.6 – Классификация и область применения бетонов**

Признаки классификации	Классификация бетонов	Область применения
1	2	3
1. По средней плотности	<u>Особотяжелые</u> – средней плотности более 2500 кг/м <sup>3</sup>	В конструкциях для защиты от излучения
	<u>Тяжелые</u> – более 2200 и до 2500 включительно	Во всех несущих конструкциях
	<u>Облегченные</u> – более 1800 и до 2200 кг/м <sup>3</sup> включительно	Преимущественно в несущих конструкциях
	<u>Легкие</u> – более 500 и до 1800 кг/м <sup>3</sup>	Преимущественно в ограждающих конструкциях (при средней плотности до 1200кг/м <sup>3</sup> ), в несущих конструкциях (при средней плотности более 1200 кг/м <sup>3</sup> )
	<u>Особо легкие</u> – средней плотности до 500 кг/м <sup>3</sup> и до 1800 кг/м <sup>3</sup>	В качестве теплоизоляции

продолжение таблицы 5.6

2. По виду вяжущего	<u>Цементные</u>	В большинстве случаев, кроме наличия особых требований к бетону.
	<u>Силикатные</u> (на известковом вяжущем)	Только для сборных бетонных и железобетонных элементов заводского автоклавного изготовления
	<u>На гипсовом вяжущем</u>	Для внутренних ограждающих конструкций.
	<u>На смешанных вяжущих</u> (известково-цементных, известково-шлаковых и т.п.)	Только для бетонных изделий и конструкций.
3. По виду заполнителей	<u>На плотных заполнителях</u>	Для тяжелых бетонов
	<u>На пористых заполнителях</u>	Для легких бетонов
	<u>На специальных заполнителях, удовлетворяющих особым требованиям</u> (например, биологической защиты от излучений, жаростойкости, химической стойкости и т. д.)	Для особо тяжелых бетонов и т.п.
4. По условиям твердения	<u>Бетоны естественного твердения</u>	Преимущественно в летних условиях для монолитных конструкций, изготовляемых на месте и стройках
	<u>Бетоны, подвергнутые тепловой обработке при атмосферном давлении</u>	В элементах сборных конструкций заводского изготовления из силикатных, ячеистых и мелкозернистых бетонов.
5. По структуре	<u>Плотной структуры</u>	В конструкционных бетонах, как тяжелых, так и легких
	<u>Поризованной структуры</u>	В конструкционных бетонах
	<u>Крупнопористой структуры</u>	В конструкционно-теплоизоляционных для стеновых конструкций и для теплоизоляции
	<u>Ячеистой структуры</u>	В стеновых конструкциях и для теплоизоляции

### 5.3. Проектирование состава бетона

Проектирование состава - один из важнейших этапов технологии бетона. От того, насколько правильно определен состав бетона, зависят его свойства, долговечность и экономичность.

Проектирование состава бетона охватывает более широкий круг вопросов, чем просто методика определения состава. Проектирование состава бетона включает: выбор материалов, расчет состава бетона с учетом качества исходных материалов и намечаемой технологии, проверку и корректировку выбранного состава путем изготовления пробных замесов, контроль качества бетона и оценку надежности технологии, проведения технико-экономических расчетов.

Известны десятки способов расчета состава бетона. Наибольшее распространение получили методы, в основе которых лежит метод абсолютных объемов. Они базируются на положении равенства суммы объемов составляющих материалов объему бетона. При этом соотношение между составляющими должно обеспечивать получение бетона требуемых свойств. Для определения первоначального состава бетона используют обычно усредненные зависимости, полученные в результате статистической обработки опытных данных.

В последнее время разработаны методы более точной оценки влияния качества материалов на свойства бетона. В частности, предложенная Ахвердовым И.И. методика расчета состава тяжелого бетона позволяет точнее и полнее учитывать специфические особенности используемых для приготовления бетона заполнителей и цемента, а также учитывать ряд технологических требований формирования конструкций, оказывающих на качество бетона.

### 5.3.1. Расчетно-экспериментальный метод подбора состава бетона по абсолютным объемам

В основу метода абсолютных объемов, предложенного В.Г.Скрамтаевым, положено условие: тяжелый бетон, уплотненный в свежем состоянии, приближается к абсолютной плотности, т. е. сумма абсолютных объемов исходных материалов (в  $1 \text{ м}^3$ ) равна объему хорошо уплотненной бетонной смеси.

Расчет состава тяжелого бетона производят в следующем порядке:

- определяют водоцементное отношение (В/Ц), обеспечивающее получение бетона заданной прочности и долговечности;
- определяют расход воды;
- рассчитывают расход заполнителей (песка, щебня или гравия);
- проверяют подвижность или жесткость бетонной смеси, при отклонении этих показателей от заданных производят корректирование состава бетонной смеси;
- готовят бетонные образцы - кубы для определения действительной прочности;
- делают перерасчет с номинального (лабораторного) состава на производственный (полевой) и на замес бетоносмесителя.

Расчет состава бетона начинают с уточнения исходных данных, проведение необходимых испытаний материалов, предназначенных для приготовления бетона и выбора расчетных параметров исходных материалов бетонной смеси и бетона.

Для определения состава бетона необходимы следующие данные: класс и плотность бетона, гранулометрический состав заполнителей, прочность, влажность, средняя и истинная плотности заполнителей, марка цемента, его средняя и истинная плотности, удобоукладываемость бетонной смеси, принимаемая в зависимости от метода ее укладки и вида бетонируемой конструкции.

В основе метода лежит гипотеза, предусматривающая равенство плотности уплотненной бетонной смеси и абсолютной плотности. Содержащийся в уплотненной бетонной смеси небольшой объем воздушных пор условно во внимание не принимается. Согласно этому условию абсолютный объем исходных материалов в  $1 \text{ м}^3$  уплотненной бетонной смеси равен единице:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + B + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1, \quad (5.2)$$

где: Ц, В, П, Щ - расходы цемента, воды, песка и щебня (гравия) на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, т;

$\rho_{ц} \rho_{п} \rho_{щ}$  - истинные плотности цемента, песка и щебня,  $\text{т/м}^3$ .

Одним из условий, принятых в методике абсолютных объемов, является то, что цементно - песчаный раствор расходуется на заполнение объема межзерновых пустот крупного заполнителя с некоторой раздвижкой его зерен. Это условие обозначается следующим уравнением:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + B + \frac{\Pi}{\rho_{п}} = \frac{Щ}{\rho_{н.щ}} * V_{п} * K_{РАЗ}, \quad (5.3)$$

где:  $\rho_{н.щ}$  - насыпная плотность щебня, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{п}$  - объем межзерновых пустот щебня (в долях единицы);

$K_{РАЗ}$  - коэффициент раздвижки зерен заполнителя (коэффициент избытка раствора).

Расчет состава бетона начинают с определения ориентировочного расхода воды в зависимости от заданной подвижности (жесткости) бетонной смеси и наибольшего размера зерен крупного заполнителя (табл. 5.4).

**Таблица 5.7 – Ориентировочные расходы воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси**

Удобоукладываемость бетонной смеси		При наибольшем размере зерен заполнителя, мм					
		гравий			щебень		
Осадка конуса	Жесткость, с.	10	20	40	10	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8
0	150-200	145	130	120	155	145	130
0	90-120	150	135	125	160	150	135
0	60-80	160	145	130	170	160	145
0	30-50	165	150	135	175	165	150
0	20-30	175	160	140	185	175	155
1	15-20	180	165	145	195	180	160
2...2,5	-	185	170	150	200	185	165
3...4	-	190	175	155	205	190	170
5	-	195	180	160	210	195	175
7	-	200	185	170	215	200	180
8	-	210	195	175	220	205	185
10...12	-	220	205	185	230	215	195

Примечание:

1. Таблица составлена для средних песков с водопотребностью 7%. При водопотребности песка менее 7% расход воды уменьшается на 5 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> на каждый процент снижения водопотребности; при водопотребности песка более 7% расход воды увеличивается на 5 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> на каждый процент повышения водопотребности.
2. При использовании пуццолановых портландцементов расход воды увеличивается на 15-20 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.
3. При водопотребности щебня (гравия) более 1,5% расход воды увеличивается соответственно.
4. Данные таблицы справедливы в пределах расхода цемента до 350...400 кг/м<sup>3</sup>.

Затем из формулы прочности бетона определяют значение  $Ц/В$ , для чего используют формулу Болемея-Скромтаева:

$$R_{28}^B = A * R_{ц} \left( \frac{Ц}{В} - 0,5 \right) \text{ при } \frac{Ц}{В} \leq 2,5 \quad (5.4)$$

Значение коэффициентов А и А<sub>1</sub> принимают по таб. 5.8.

**Таблица 5.8 – Значение коэффициентов А и А1**

Качество заполнителей	А	А1
высокое	0,65	0,43
среднее	0,60	0,40
низкое	0,55	0,37

Так как значение Ц/В заранее неизвестно, то формулу (3.4) рекомендуют использовать в следующих случаях:

Если  $A > 0,65$  то при  $R_B \leq 1,3$

Если  $A = 0,65$  то при  $R_B \leq 1,2$

Если  $A = 0,55$  то при  $R_B \leq 1,1$

При необходимости получения бетона более высокого класса, чем указано выше, рекомендуется использовать формулу (5.5)

$$R_{28}^5 = 0,1 \left[ (0,23 * R_{ц} + 100) * \frac{Ц}{В} - 80 \right], \text{ МПа. при } Ц / В \leq 2,5 \quad (5.5)$$

Более правильные результаты получаются при использовании формулы, предложенной во ВНИИЖелезобетона (г. Москва):

$$R_{28}^5 = 0,1 \left[ (0,23 * R_{ц} + 100) * \frac{Ц}{В} - 80 \right], \text{ МПа. при } Ц / В \leq 2,5 \cdot \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (5.6)$$

$$R_{28}^5 = 0,1 \left[ (0,33 * R_{ц} + 100) * \frac{Ц}{В} - 80 \right] * (1 - \Delta R_B), \text{ МПа. при } Ц / В > 2,5 \quad (5.7)$$

Значение  $\Delta R_B$  принимают согласно таб. 5.9.

**Таблица 5.9 – Значение  $\Delta R_B$  в зависимости от марки цемента**

$R_{ц}$ , кг/см <sup>2</sup>	Значение $\Delta R_B$ при Ц/В		
	2,5	3,0	3,5
200	0	0,02	0,05
300	0	0,03	0,07
400	0	0,05	0,09
500	0	0,06	0,11
600	0	0,07	0,14

После определения значения В/Ц вычисляют расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси вычисляют по следующим формулам, кг:

$$\frac{Щ}{V_n * K_{раз}} = \frac{1000}{\rho_{нш} + \frac{1}{\rho_{щ}}} \quad (5.8)$$

$$П = \left[ 1000 - \left( \frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right) \right] * \rho_n \quad (5.9)$$

где: Ц, В, Щ, П – расход цемента, воды, щебня (гравия), песка на 1000м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг.

Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $K_{раз}$  принимают равным 1,05-1,15 (в среднем 1,10), а для жирных составов жестких бетонных смесей с расходом цемента более 400кг/м<sup>3</sup> коэффициент раздвижки назначают не менее 1,10, для подвижных бетонных смесей – по таб. 5.10.

**Таблица 5.10 – Оптимальные значения коэффициента раздвижки зерен для пластичных бетонных смесей**

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент раздвижки зерен при В/Ц					
	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
1	2	3	4	5	6	7
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,30	1,36	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,40	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	1,56	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

Примечание:

1. При других значениях цемента и водоцементного отношения коэффициент раздвижки находится интерполяцией.
2. При использовании мелкого песка с водопотребностью более 7% коэффициент раздвижки уменьшают на 0,03 на каждый процент увеличения водопотребности песка. Если применяют крупный песок с водопотребностью менее 7%, к-т раздвижки увеличивают на 0,03 на каждый процент уменьшения водопотребности.

После подсчета расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси рассчитывают расход материалов на пробный замес объемом 10 дм<sup>3</sup>. Затем готовят три пробных замеса объемом по 10 дм<sup>3</sup>. В первом замесе значение Ц/В принимается равным расчетному, во втором - на 0,05 меньше, а в третьем - на 0,05 больше. Во всех трех замесах подвижность (жесткость) бетонной смеси должна быть равна заданной величине. Если подвижность смеси окажется меньше заданной, то смесь небольшими порциями добавляют 5...10% от первоначальной массы цемент и воду, сохраняя расчетное соотношение между ними. При получении подвижности более заданной в смесь небольшими порциями добавляют песок и щебень, не изменяя расчетное соотношение между ними.

Получив замесы бетонной смеси с заданной подвижностью (жесткостью), из них изготавливают образцы кубической формы для определения предела прочности при сжатии в установленные сроки твердения. По полученным результатам испытаний строят графическую зависимость между прочностью бетона и Ц/В. Из графика определяют фактическое значение Ц/В, обеспечивающее заданную прочность бетона.

Затем, исходя из найденного значения Ц/В, пересчитывают расход цемента, песка и щебня (гравия) из 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Далее определяют среднюю плотность бетонной смеси  $\rho_{CM}$  кг/дм<sup>3</sup>, оптимального состава путем уплотнения её способом, принятым при производстве данного вида конструкции:

$$\rho_{CM} = \frac{m_{CM}}{V_{ФОР}}, \quad (5.10)$$

где:  $m_{CM}$  – масса уплотненной бетонной смеси в форме, кг;

$V_{ФОР}$  – объем формы дм<sup>3</sup>.

При этом разница между фактической и расчетной плотностью бетонной смеси не должна превышать 2%.

После этого определяют фактический объем полученной бетонной смеси  $V_{\phi}$ ,  $\text{дм}^3$ , при приготовлении пробного замеса:

$$V_{\phi} = \frac{\sum m}{\rho_{\text{см}}^{\phi}}, \quad (5.11)$$

где:  $\sum m$  – сумма масс всех исходных материалов, израсходованных на приготовление пробного замеса, кг;

$\rho_{\text{см}}^{\phi}$  – фактическая средняя плотность бетонной смеси,  $\text{кг/дм}^3$ .

Фактический расход исходных материалов на  $1 \text{ м}^3$  уплотненной бетонной смеси определяют по следующим формулам:

$$C_{\phi} = \frac{C * 1000}{V_{\phi}}; B_{\phi} = \frac{B * 1000}{V_{\phi}}; \text{Щ}_{\phi} = \frac{\text{Щ} * 1000}{V_{\phi}}; \text{П}_{\phi} = \frac{\text{П} * 1000}{V_{\phi}}, \quad (5.12)$$

где:  $C_{\phi}$ ,  $B_{\phi}$ ,  $\text{Щ}_{\phi}$ ,  $\text{П}_{\phi}$  – фактические расходы соответствующих материалов на пробный замес, кг.

Затем определяют коэффициент выхода бетонной смеси:

$$\beta = \frac{V_{\phi}}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}}; V_{\text{ц}} = \frac{C}{\rho_{\text{н.ц}}}; V_{\text{п}} = \frac{\text{П}}{\rho_{\text{н.п}}}; V_{\text{щ}} = \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{н.щ}}}, \quad (5.13)$$

где:  $V_{\text{ц}}$ ,  $V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{щ}}$  – объемы цемента, песка и щебня, израсходованные на приготовление пробного замеса,  $\text{дм}^3$ ;

$\rho_{\text{н.ц}}$ ,  $\rho_{\text{н.п}}$ ,  $\rho_{\text{н.щ}}$ , – насыпная плотность цемента, песка и щебня,  $\text{кг/дм}^3$ .

### 5.3.2. Расчет состава бетона по методу БГПА (методу проф. И.Н. АХВЕРДОВА)

При выборе марки цемента для обеспечения заданной прочности бетона в конструкции (его марки или класса) необходимо руководствоваться следующими положениями.

Для получения связной структуры цементного теста в бетоне активность цемента должна быть в пределах 0,7...2 от требуемой прочности бетона. При значениях отношения активности цемента к прочности бетона менее 0,7 и более 2 цементное тесто теряет связность, что приводит к ухудшению физико-механических свойств цементного камня и бетона, снижению морозостойкости к стойкости в агрессивных средах, повышается проницаемость бетона.

Для вибрированного бетона указанное соотношение должно быть в пределах 1,2...2.

В соответствии с "Типовыми нормами расхода цемента для приготовления бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделий и конструкций" (СНиП 5.01.23-83) марка цемента выбирается в зависимости от средней прочности бетона и условий его твердения. В указанных нормах также приводятся максимальные и минимальные нормы расхода цемента в бетоне. Для неармированных конструкций минимальный расход цемента должен составлять не менее  $200 \text{ кг}$  на  $1 \text{ м}^3$  бетона, для армированных железобетонных конструкций – не менее  $220 \text{ кг}$ . Максимальный расход цемента в бетоне не должен превышать  $600 \text{ кг}$  на  $1 \text{ м}^3$  бетона.

**Таблица 5.11 – Рекомендуемая удобоукладываемость бетонной смеси для формирования изделий, уплотняемых вибрированием**

Наименование изделия	Осадка конуса (см) или жесткость (с) бетонной смеси при способах формирования изделия			
	Агрегатно-поточная или конвейерная технология с уплотнением на виброплощадках или вибронасадками	Стеновая технология (кроме кассетной)		
		С уплотнением навесными вибраторами при высоте бетонирования в см		С уплотнением глубинными и поверхностными вибраторами
		До 80	> 80	
1	2	3	4	5
1. Плоские изделия с повышенными требованиями к качеству поверхности (плиты и панели перекрытий; стеновые панели и перегородки и т.п.)	1..4 см	–	–	1..4 см
2. То же при обычных требованиях к качеству поверхности (плиты покрытий зданий, дорожных покрытий, плиты крепления откосов земляных сооружений, элементы подпорных стенок, бункеров и др.	5..10 с	–	–	1..4 см
3. Панели и настилы пустотные	11..20 с	–	–	–
4. Ребристые и кессонные плиты, панели и другие аналогичные элементы (стеновые панели промзданий, плиты покрытий, лестничные площадки, марши)	1..4 см	1..4 см	5..9 см	1..4 см
5. Блоки фундаментные и стеновые и другие доборные изделия простой конфигурации	5..10 с	5..10 с	1..4 см	5..10 с

продолжение табл. 5.11.

1	2	3	4	5
6. Линейные изделия простого профиля (ригели, балки, колонны, стойки, перемычки, сваи), а также тавровые и двутавровые балки, опоры ЛЭП, фермы, мачты, двухветвенные колонны и т.п.	1..4 см	1..4 см	5..9 см	1..4 см
7. То же со значительным общим или местным насыщением арматуры	5..9 см	5..9 см	5..9 см	1..9 см
8. Криволинейные элементы покрытий, резервуаров, тоннелей, шахтных стволов	5..9 см	5..9 см	5..9 см	5..9 см
9. Трубы, мачты, кольца колодцев и т.п.	5..9 см	5..9 см	5..9 см	--
10. Лотки	--	5..9 см	--	--

Показатель удобоукладываемости бетонной смеси и жесткость, (Ж,с) или подвижность (ОК,см) уплотняемой вибрированием, выбираются в зависимости от сложности конфигурации изделия, степени его армирования, способа изготовления при формовании изделия (табл. 3.8).

При подаче бетонной смеси к месту укладки бетононасосами её удобоукладываемость должна соответствовать осадке конуса в пределах от 7 до 18 см при использовании плотных заполнителей и от 7 до 18 см - на пористых. Бетонная смесь, перекачиваемая пневмотранспортом, должна иметь ОК 4... 6 см.

Для выполнения расчетов при проектировании состава бетона по методу проф. Ахвердова И.Н. необходимо иметь сведения о компонентах бетона:

- активность (марка) цемента,  $R_{ц}$ ;
- водопотребность цемента ( В/Ц нормальной густоты -  $K_{цг}$ )
- насыпная плотность цемента ,  $\rho_{ц}^H$  ;
- истинная плотность цемента,  $\rho_{ц}$ ;
- фракционный состав крупного и мелкого заполнителей, их происхождение и минералогический состав;
- плотность зерен песка  $\rho_{п}^3$  и крупного заполнителя  $\rho_{к}^3$  ;
- насыпная плотность заполнителей  $\rho_{п}^H$ ,  $\rho_{к}^H$  и плотность в виброуплотненном состоянии  $\rho_{п}^B$ ,  $\rho_{к}^B$ ;
- пустотность заполнителей в виброуплотненном состоянии  $\Pi_{п}^B$ ,  $\Pi_{к}^B$ .

#### Последовательность расчета состава бетона.

##### 1. Определение минимальной пустотности смеси заполнителей.

Исходя из имеющихся значений насыпной плотности песка и щебня (гравия) в виброуплотненном состоянии, их плотности зерен и пустотности в виброуплотненном состоянии находим:

- а) максимальную насыпную плотность смеси ( $\rho_{см}^B$  , кг/м<sup>3</sup>) заполнителей в виброуплотненном состоянии:

$$\rho_{см}^B = 1 * \rho_{к}^B + \Pi_{к}^B * \rho_{п}^B, \quad (5.14)$$

- б) максимальную плотность смеси зерен заполнителей ( $\rho_{см}^3$  ,кг/м<sup>3</sup>):

$$\rho_{см}^3 = \frac{\rho_{п}^3 + \frac{\rho_{к}^B * \rho_{к}^3}{\Pi_{к}^B + \rho_{п}^B}}{1 + \frac{\rho_{к}^B}{\Pi_{к}^B * \rho_{п}^B}}, \quad (5.15)$$

- в) минимальный объем пустот (м<sup>3</sup>) смеси заполнителей:

$$V_{п.см.} = 1 - \frac{\rho_{см}^B}{\rho_{см}^3}, \quad (5.16)$$

- г) построение графика изменения пустотности смеси заполнителей в зависимости от объемов песка и щебня (гравия) в смеси (рис.5.1).

По оси ординат откладываются пустотности щебня (гравия) и песка, а по оси абсцисс один под другим, соответственно, объемы песка и крупного заполнителя, учитывая, что минимальная пустотность смеси заполнителей имеет место тогда, когда объем песка в смеси заполнителей будет равен объему пустот щебня (гравия), а объем крупного заполнителя в смеси равен  $1 \text{ м}^3$ .

Имея график изменения пустотности смеси заполнителей, приступают к проектированию оптимального состава бетона по заданным характеристикам удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетона.

2. Определение оптимальной пустотности смеси и объемов заполнителей в бетоне.

Оптимальная пустотность смеси заполнителей предусматривает раздвижку зерен крупного заполнителя песком и должна быть для вибри-рованного бетона определена с соблюдением условия:  $V_{п,см}^{opt} \geq 1.1 \cdot V_k \cdot \Pi_k^a$

Наносится на график (рис. 5.1) оптимальная пустотность смеси заполнителей и находятся соответствующие ей значения объемов песка и крупного заполнителя в бетоне  $V_п, V_{щ(гр)}$

3. Вычисляются массовые доли песка и крупного заполнителя в смеси:

$$m_п = V_п \cdot \rho_п^B, \text{ кг}; m_{щ(гр)} = V_{щ(гр)} \cdot \rho_k^B, \text{ кг}, \quad (5.17)$$

4. Вычисляется суммарная поверхность смеси заполнителей ( $S_{см}, \text{ м}^2$ ) путем учета процентного содержания каждой фракции заполнителей и величины их удельной поверхности, приведенной в табл. 5.9 и 5.10.

$$S_{см} = S_п + S_k = 0,001 \left( m_п \cdot \sum_{i=1}^n (P_{пi} \cdot S_{пi}) + m_{щ(гр)} \cdot \sum_{i=1}^n P_{щ(гр)i} \cdot S_{щ(гр)i} \right), \quad (5.18)$$

где  $P_{пi}, P_{щ(гр)i}$  - содержание фракций песка и щебня (гравия) в %.

$S_{пi}, S_{щ(гр)i}$  - удельные поверхности фракций песка и щебня (гравия)  $\text{см}^2/\text{г}$ .

5. Определяется объем цементного теста ( $\text{м}^3$ ) для приготовления  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси:

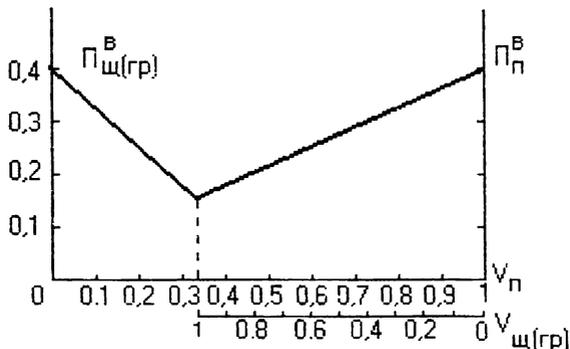


Рисунок 5.1 – Изменение пустотности смеси заполнителей ( $V_{п,см}$ ) в зависимости от объемов крупного заполнителя и песка

$$V_T = \frac{V_{п.см}^{опт} + 0,000013 * S_{см}}{V_б}, \quad (5.19)$$

где  $V_б = 1 + 0,000013 * S_{см}$  ( $m^3$ ), что соответствует выходу бетона при увеличении его объема за счет раздвижки зерен заполнителей цементным тестом.

6. Корректируется расход заполнителей по выходу бетона:

$$m'_п = \frac{m_п}{V_б}, \text{ кг; } m'_{щ(гр)} = \frac{m_{щ(гр)}}{V_б}, \quad (5.20)$$

7. Определяется общая водопотребность заполнителей (кг):

$$B_з = 0,0001 \left( m'_п * \sum_{i=1}^n (P_{пi} * B_{пi}) + m'_{щ(гр)} * \sum_{i=1}^n (P_{щ(гр)i} * B_{щ(гр)i}) \right), \quad (5.21)$$

где:  $B_{пi}$  и  $B_{щ(гр)i}$  - водопотребность отдельных фракций соответственно песка и крупного заполнителя ( табл. 5.9; 5.10)

8. Определяется количество воды, адсорбируемой поверхностью заполнителей (кг):

$$B_{ад} = 0,0001 \left( m'_п * \sum_{i=1}^n (P_{пi} * B_{п,ад,i}) + m'_{щ(гр)} * \sum_{i=1}^n (P_{щ(гр)i} * B_{щ(гр),ад,i}) \right), \quad (5.22)$$

где:  $B_{п,ад}$  и  $B_{щ(гр),ад}$  - количество адсорбированной воды отдельных фракций, соответственно, песка и крупного заполнителя ( табл. 5.9 и 5.10 )

9. Вычисляется расход цемента (кг) на  $1 m^3$  бетона:

$$Ц = \frac{1000 * V_T - B_{ад}}{1,02 * \frac{1000}{\rho_п} + K_{н.г.} * (X - 0,293)}, \quad (5.23)$$

где:  $X$  - относительное водосодержание цементного теста, предельное значение которого имеет границы 0,876...1,65, в которых цементное тесто представляет собой связную систему.

При вычислении расхода цемента значение  $X$  выбирают произвольно в указанных границах. Полученное значение расхода цемента сравнивается с нормативными требованиями.

10. Определяется водоцементное отношение бетона:

$$\left( \frac{B}{Ц} \right)_б = X * K_{н.г.} + \frac{B_{ад}}{Ц}, \quad (5.24)$$

$$X = \frac{\left( \frac{B}{Ц} \right)_б * T}{K_{н.г.}}, \quad (5.25)$$

Таблица 5.12 – Физические свойства песков по данным

Фракция песка, мм	Средний размер зерен, мм	Плотность зерен кг/м <sup>3</sup>	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	Общее водопоглощение, %	Водопоглощение поверхностью, %	Водопоглощение порами, %	Пористость, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Морской песок</b>								
5–2,5	3,33	–	–	–	–	–	–	–
2,5–1,2	1,6	2500	17,5	1,36	0,7	0,66	6,8	2600
1,2–0,6	0,9	2500	31,5	1,86	1,25	0,61	5,45	2640
0,6–0,3	0,45	2540	58,3	2,89	2,33	0,56	3,7	2650
0,3–0,15	0,23	2550	108,0	4,5	4,32	0,18	0	2650
0,15–0,088	0,111	2550	222,0	9,12	8,94	0,18	0	2650
<b>Речной песок</b>								
5–2,5	3,33	2500	9,4	1,914	0,374	1,54	4,5	2600
2,5–1,2	1,6	2500	20,2	2,07	0,81	1,26	3,7	2600
1,2–0,6	0,9	2500	37,0	2,3	1,48	0,82	2,75	2600
0,6–0,3	0,45	2540	72,0	3,46	2,86	0,58	2,2	2600
0,3–0,15	0,23	2550	141,0	6,0	5,65	0,35	1,33	2600
0,15–0,088	0,111	2560	293,0	12,01	11,7	0,31	1,2	2600
<b>Кварцевый песок</b>								
5–2,5	3,33	2620	9,4	1,914	0,374	–	–	2650
2,5–1,2	1,6	2620	18,5	1,788	0,76	0,028	0,7	2650
1,2–0,6	0,9	2650	33,0	1,32	1,32	0	0	2650
0,6–0,3	0,45	2650	66,0	2,65	2,65	0	0	2650
0,3–0,15	0,23	2650	129,0	5,04	2,04	0	0	2650
0,15–0,088	0,111	2650	261,0	10,4	10,4	0	0	2650

**Таблица 5.13 – Физические свойства крупных заполнителей**

Вид и размеры зерен (мм) заполнителя	Плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	Общее водопоглощение, %	Водопоглощение		Пористость, %
				Поверхностью, %	Порами, %	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Гранитный щебень</b>						
40–70	2670	0,75	0,71	0,21	0,5	0,9
20–40	2670	1,35	0,77	0,27	0,5	0,9
10–20	2670	2,7	0,93	0,51	0,42	0,85
5–10	2670	5,4	1,21	0,81	0,4	0,83
<b>Базальтовый щебень</b>						
40–70	2600	0,76	1,24	0,152	1,09	1,27
20–40	2600	1,41	1,38	0,263	1,1	1,27
10–20	2600	2,82	1,5	0,565	0,95	1,2
5–10	2600	5,4	1,6	0,8	0,8	1,2
<b>Щебень из песчаника</b>						
40–70	2450	0,78	4,76	0,16	4,6	8,0
20–40	2450	1,42	4,8	0,28	4,52	8,0
10–20	2450	2,68	4,9	0,58	4,32	8,0
5–10	2450	5,3	4,96	0,8	4,16	7,2
<b>Гравий речной</b>						
40–70	2600	0,58	1,12	0,12	1,0	1,64
20–40	2600	1,16	1,24	0,24	1,0	1,64
10–20	2600	2,31	1,38	0,48	0,9	1,6
5–10	2600	4,38	1,46	0,66	0,8	1,52

Сравнивается полученная величина  $(B/C)_б$  с нормативными требованиями, если они предусмотрены условиями эксплуатации конструкции

11. Определяется проектная прочность бетона (кг/см<sup>2</sup> или МПа):

$$R_{сж} = \frac{K_{пер} * K_s * R_{ц}}{1 + 1,65 K_{нг} * \left( \frac{B}{C} \right)_б - 1,65 K_{нг}}, \quad (5.26)$$

где:  $K_{пер}$  - коэффициент для перерасчета марки цемента, определяемой в пластичных растворах (табл. 5.14).

**Таблица 5.14 – Значение переходного коэффициента ( $K_n$ ) для цемента**

Коэффициент нормальной густоты	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
Переходный коэффициент	1,65	1,62	1,55	1,48	1,42	1,36	1,30	1,25	1,20	1,15	1,14

12. Уточняется объем цементного теста в бетоне. В случае необходимости увеличения расхода цемента в бетон вводится добавка цемента  $D_{Ц}$  и тогда:

$$V'_{Т} = \frac{1,02(C + D_{Ц}) * \left[ \frac{1000}{\rho_{п}} + K_{н.г} (X - 0,293) \right]}{1000}, \quad (5.27)$$

13. Вычисляется величина осадки стандартного конуса (см):

$$OK = 20 * \varphi * \rho_{Б.см} * V'_{Т} * (X - 0,876) / 0,774, \quad (5.28)$$

$$\text{где } \varphi = \frac{V_{п}}{V_{п} + V_{Щ(ГР)}}; V_{п} = \frac{m'_{п}}{\rho_{п}^{\prime}}; V_{Щ(ГР)} = \frac{m'_{Щ(ГР)}}{\rho_{Щ(ГР)}^{\prime}}$$

где:  $\rho_{Б.см}$  – средняя плотность смеси, принимаемая равной 2,4 т/м<sup>3</sup>.

Если осадка конуса получается больше требуемой, уменьшают величину X, если ОК меньше требуемой величины - вводят добавку цемента  $D_{Ц}$ . После подбора необходимой величины  $D_{Ц}$ , проверяется объем бетона в плотном состоянии.

14. Определяется объем (м<sup>3</sup>) бетона в плотном состоянии (уточнение выхода бетона):

$$V_{Б} = \frac{Ц(1 + D_{Ц})}{\rho_{Ц}} + \frac{m'_{п}}{\rho_{п}} + \frac{m_{Щ(ГР)}}{\rho_{Щ(ГР)}} + \frac{(B/Ц) * Ц * (1 + D_{Ц})}{\rho_{Б}}, \quad (5.29)$$

15. Определяем расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$\text{цемент} = \frac{Ц(1 + D_{Ц})}{V_{Б}}, \text{ кг} \quad (5.30)$$

$$\text{песок} = \frac{m'_{п}}{V'_{Б}}, \text{ кг} \quad (5.31)$$

$$\text{щебень(гравий)} = \frac{m_{Щ(ГР)}}{V'_{Б}}, \text{ кг} \quad (5.32)$$

$$\text{вода} = \frac{Ц(1 + D_{Ц})}{V'_{Б}}, \text{ кг} \quad (5.33)$$

16. Выражается относительный состав бетона по массе:

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{п}{Ц} : \frac{Щ(ГР)}{Ц} : \frac{В}{Ц} \quad (5.34)$$

17. Определяется коэффициент выхода бетона:

$$K_{Б} = \frac{1000}{\frac{Ц}{\rho_{Ц}^{\prime}} + \frac{п}{\rho_{п}^{\prime}} + \frac{Щ(ГР)}{\rho_{Щ(ГР)}^{\prime}}}, \quad (5.35)$$

18. Находится расчетная плотность бетонной смеси (кг/м<sup>3</sup>):

$$\rho_{Б.см}^{\text{РАСЧ}} = Ц + В + Щ(ГР) + п, \quad (5.36)$$

В странах СНГ широкое применение нашел расчетно-экспериментальный метод НИИЖБа.

*Методика расчета.*

1. Рассчитывают водоцементное отношение бетонной смеси:

$$(B/C)б=(0,23Rц+10)/(Rб+8), \quad (5.37)$$

где Rц и Rб соответственно активность цемента и марка бетона, МПа,

2. Расход воды определяют по табл. 5.7.

3. По расходу воды на 1 м<sup>3</sup> бетона и водоцементному отношению бетонной смеси определяют расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$Ц = B/(B/C)б \quad (5.38)$$

4. Суммарный расход заполнителей (З) (песка, щебня или гравия, кг) на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

$$З = \rho б.см - Ц - В, \quad (5.39)$$

где З = П+К, П – мелкий заполнитель (песок); К – крупный заполнитель.

Среднюю плотность бетонной смеси ( $\rho б.см$ ) следует принимать при заполнителе из карбонатных пород 2350 кг/м<sup>3</sup>, а из более плотных пород – 2400 кг/м<sup>3</sup>.

5. Расход песка (кг) на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси находят с учетом массовой доли песка (r), зависящей от вида и крупности зерен заполнителей, а также от расхода цемента (табл. 5.15)

$$П = З \times r \quad (5.40)$$

6. Расход крупного заполнителя на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

$$К = З - П \quad (5.41)$$

**Таблица 5.15 – Массовая доля песка в смеси заполнителей**

Расход цемента в бетоне, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля песка в смеси заполнителей при крупности, мм					
	гравия			щебня		
	20	40	70	20	40	70
200	0,4	0,39	0,37	0,42	0,41	0,40
250	0,39	0,37	0,36	0,41	0,40	0,39
300	0,37	0,35	0,35	0,40	0,39	0,38
350	0,35	0,34	0,34	0,39	0,37	0,36
400 и более	0,36...0,38	0,35...0,38	0,32...0,38	0,37...0,42	0,35 0,42	0,34 0,40

Окончательно определенный лабораторный состав бетона, полученный для сухих материалов, пересчитывают на рабочий состав, в котором учитывается влажность заполнителей. Для этого рассчитывают количество воды, содержащейся во влажных заполнителях.

#### **5.4. Приготовление бетонных смесей**

Приготовление бетонных смесей - одна из основных функций промышленной базы строительных организаций. Для возведения монолитных конструкций бетон приготавливают на центральных бетонных заводах, обслуживающих несколько объектов данного региона или крупную строительную площадку, а также на инвентарно-блочных и мобильных бетоно-смесительных установках и отдельных бетоносмесителях.

Районные бетонные заводы производительностью 100000 - 200000 м<sup>3</sup> товарного бетона в год обеспечивают им несколько строительных площадок, расположенных в радиусе 25-30 км. Районные бетоносмесительные заводы могут состоять из одной, двух или трех типовых секций. Каждая секция представляет собой самостоятельную технологическую линию. Важными преимуществами таких заводов являются низкая себестоимость и трудоемкость 1 м<sup>3</sup> товарного бетона. Их недостаток - большие затраты на транспортирование бетонных смесей и снижение их качества в результате длительного нахождения в пути.

Центральный бетоносмесительный или бетонорастворный завод (БРЗ) обеспечивает товарным бетоном и раствором одну крупную строительную площадку. Производительность БРЗ достигает 30 - 50 тыс. м<sup>3</sup> в год, а срок службы на одном месте составляет 5-7 лет. Конструкции таких заводов, как правило, разборно-переставные для облегчения перебазирования их с объекта на объект.

Себестоимость приготовления 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси почти сопоставима с районным бетонным заводом, а трудоемкость не превышает 0,1-0,3 чел-ч. Хотя эти показатели несколько хуже, чем на районных заводах, зато снижаются затраты на перевозку товарного бетона и практически не ухудшается качество бетонной смеси в пути.

По возможности перебазирования различают заводы: неперебазиремые, стационарные (обычно районные) и инвентарные, собираемые из отдельных перевозимых блоков (обычно-центральные). В состав блоков входит все технологическое и сантехническое оборудование (табл. 5.13).

Для обеспечения бетонной смесью мелких рассредоточенных объектов используют передвижные или инвентарные бетоносмесительные установки. Передвижные бетоносмесительные установки монтируют на трейлерах, прицепах или железнодорожных платформах и устанавливают непосредственно у места бетонирования. Свежеприготовленную бетонную смесь подают непосредственно в опалубку транспортерами, бетононасосами или с помощью кранов. Производительность передвижных бетоносмесительных установок составляет от 5 до 15 м<sup>3</sup>/ч.

В последние годы для использования как в качестве стационарных, так и инвентарных все шире применяют бетонные заводы, скомпанованные из объемных блоков транспортных габаритов.

Комплексные монтажные блоки состоят из несущих стальных конструкций, стеновых панелей, технологического оборудования и необходимых коммуникаций (электрических, сантехнических, воздушных и пр.). Максимальная заводская готовность подобных блоков позволяет осуществить монтаж бетонного завода в сжатые сроки. Компоновка таких заводов из объемных блоков может быть вертикальной ("башенной") и ступенчатой ("партерной") (рис. 5.2).

**Таблица 5.16 – Технические характеристики типовых унифицированных бетоносмесительных заводов и инвентарных установок**

Тип завода или установки	Номер типового проекта	Смеситель	Комплект дозаторов	Производительность		Установленная мощность двигат. кВт	Площадь в плане, м <sup>2</sup>	Высота, м
				м <sup>3</sup> /ч	Тыс. м <sup>3</sup> в год			
Циклический односекционный завод с двумя бетоносмесителями вместимостью по 500л. (высотный)	409-28-30	СБ-35	Серии ДБ	20	70	83	72	26,6
		СБ-91		20	92	-	-	-
Циклическая односекционная установка с двумя бетоносмесителями вместимостью по загрузке 1200 или 1500л	409-28-28	СБ-93	Серии	48	160	175	87	25,2
		СБ-10Б	2ДБ	60	200	-	-	-
Циклический двухсекционный завод с четырьмя смесителями вместимостью по загрузке 1200 или 1500л. (высотный)	409-28-29	СБ-93	Серии 2ДБ	96	320	323	159	25,2
Установка непрерывного действия СБ-75 для круглогодичной работы	409-28-26	СБ-75	СБ-71АСБ-110	30	118	94	1890	8,0
Циклическая односекционная установка СБ-70 для круглогодичной с двумя смесителями вместимостью по загрузке 500л	409-28-25	СБ-16	Серии ВДБ	15	59	61	432	6,6
Циклическая односекционная установка с двумя смесителями вместимостью по загрузке 500л со скиповым подъемником.	409-28-21	СБ-35	Серии ВДБ	20	70	68	87	12
То же, с двумя смесителями вместимостью по загрузке 250л	409-28-22	СБ-30Б	Серии ВДБ	12	40	37	72	10,4
Циклический односекционный бетоносмесительный цех с двумя бетоносмесителями вместимостью по загрузке 1500л (высотный)	409-28-38	СБ-93	Серии 2ДБ	60	118	157	460	31,2
		СБ-112						
Циклический двухсекционный бетоносмесительный цех с четырьмя бетоносмесителями вместимостью по загрузке 1500л	409-28-39	СБ-93 СБ-112	Серии 2ДБ	120	237	478	490	23,1

Таблица 5.17 – Техничко-экономические показатели различных видов смесителей

Тип смесителя	Вместимость, м <sup>3</sup>	Допустимое водоцементное отношение	Наибольшая крупность заполнителя, мм	Энергоемкость, кВт/м <sup>3</sup>	Продолжительность, с		Достоинства	Недостатки
					Смешивания	Разгрузки		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гравитационный опрокидной:								
– малой вместимости;	0,1–1,0	0,05–0,8	60	1,1–1,4	180	–	Быстрота загрузки, простота ухода	Непригодны для больших смесителей
– большой вместимости.	1–5	0,52–0,9	180	1,2	–	25–45		
Гравитационный опрокидной:								
– с коническим барабаном;	0,1–5	0,6–0,9	150	1–1,25	–	40–45	Простота ухода	Неравномерная разгрузка, небольшое расслоение
– реверсный;	0,1–5	0,5–0,8	180	1–1,6	180	–	Хорошее качество смеси	Медленная разгрузка, большая металлоемкость
– с вводным лотком.	0,1–1	0,5–0,8	60	1–1,2	180	–	То же	Медленная разгрузка
Тарельчатый:								
– с неподвижным корпусом;	0,5–2,0	0,48–0,7	80	2,2–4,8	–	30–35	Равномерность разгрузки, простота ухода	Небольшое расслоение
– с подвижным корпусом.	0,5–4,5	0,42–0,8	70	2,5–5,0	60	–		
Противоточный с интенсификаторами или катками	0,5–3,0	0,42–0,8	60	4	–	25–40	Хорошее качество смеси	Медленная разгрузка, сложная герметизация
	0,5–8,0	0,42–0,8	60	2,5–5,0	не регулируется	–		
Лотковый:								
– одновальный	0,2–2,0	0,45–0,85	100	2,8–3,9	–	30–40	Простота ухода, универсальность	Медленная разгрузка
	0,5–3,0	0,32–0,9	150	2,8–3,0	30–60	–		
– двухвальный	0,5–3,5	0,32–0,9	180	3,0–3,6	30–60	–	Универсальность, быстрота разгрузки, малые габариты	–
	0,5–5,0	0,35–0,9	80–100	2,9–3,7	–	18–30		

**Таблица 5.18 – Технические характеристики гравитационных смесителей.**

Показатель	СБ-101	СБ-116А	СБ-30Б	СБ-15	СБ-16Б	СБ-16	СБ-84	СБ-91	СБ-10В	СБ-94	СБ-3	СБ-103
Объем готового замеса, л.	65	65	330	330	330	330	330	500	800	1000	1600	2000
Вместимость по загрузке, л.	100	250	500	500	500	500	500	750	1200	1500	2400	3000
Число циклов приготовления бетонной смеси, цик/ч	Не нормир	Не нормир	Не нормир	30	30	30	30	25	20	20	20	20
Наибольшая крупность заполнителя, мм	40	40	70	70	70	70	70	120	120	120	120	120
Частота вращения барабана, об/мин.	27	20	20	18	18	18	18	18	17	17,6	12,6	12,6
Мощность двигателя, кВт.	0,75	1,52 *	4,1	3,6	10,1	9,1	7,0	5,1	13	13	25	22
Механизм опрокидывания	ручн	ручн	ручн	гидр	гидр	гидр	гидр	пневм	пневм	пневм	пневм	пнев
Габаритные размеры, м.	1,45х х1,06х х1,27	1,85х х1,06х х1,27	1,91х х1,59х х2,28	2,23х х2,43х х1,92	2,55х х2,02х х2,85	2,5х х2,7х х2,7	2,56х х2,7х х2,0	1,8х х2х х1,95	3,22х х2,81х х2,52	2,6х х2,5х х2,46	3,43х х4,18х х3,32	2,5х х4,1х х3,33
Масса, кг	213	270	800	1970	1900	2000	1700	1250	3900	3000	8050	7600

Примечание: \* - двигатель внутреннего сгорания

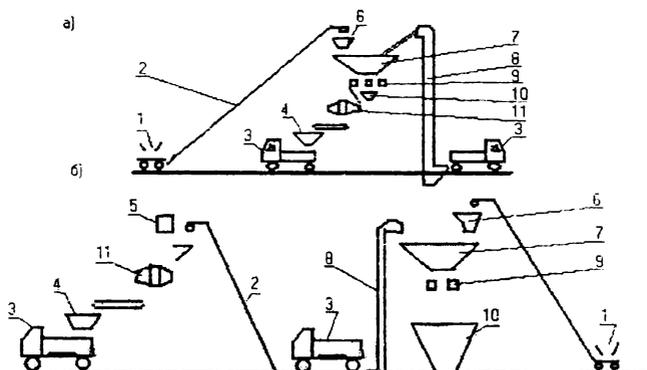
**Таблица 5.19 – Технические характеристики циклических смесителей принудительного перемешивания с вертикально расположенными смесительными валами.**

Показатель	СБ-80-1	СБ-80	СБ-35	СБ-79	СБ-62	СБ-93	СБ-138	СБ-112*	СБ-43В*	СБ-108**	СБ-81**	СБ-120***
Объем готового замеса, л.	165	165	375	500	800	1000	1000	1000	65	500	800	1000
Вместимость по загрузке, л.	250	250	500	750	1200	1500	1500	1500	80	1000	1000	1200
Число циклов приготовления бетонной смеси, цик/ч	ручн за- груз	ручн загруз	40	40	40	40	45	36	ручн за- груз	28***	30	30
Наибольшая крупность заполнителя, мм	40	40	70	70	70	70	70	70	40	40	5	40
Частота вращения барабана, об/мин.	31	31	32	26	24	20	22,6	20	550	320	320	320
Мощность двигателя, кВт.	5,5	5,5	13	30	30	40	40	40	3	55	40	55
Габаритные размеры, м.	1,91х х1,55х х2,03	1,91х х1,55х х2,07	2,2х х1,97х х1,8	2,6х х2,37х х2,56	2,95х х2,28х х2,67	3,34х х2,69х х2,67	3,58х х3х х1,67	2,98х х2,7х х2,85	1,74х х0,95х х0,59	2,9х х1,9х х1,76	2,53х х1,62х х1,86	3,1х х1,9х х1,8
Масса, кг	1150	1170	2000	3500	4200	4900	4700	5200	1600	2400	2150	2600

Примечание: \* - для приготовления паропрогретых смесей до 60<sup>0</sup>С.

\*\* - для приготовления мелкозернистого бетона.

\*\*\* - для приготовления керамзитобетонных смесей.



**Рис. 5.2. Компонентные схемы бетоносмесительных заводов**

а) - ступенчатая (вертикальная); б) - двухступенчатая (партерная).

1,2 - транспортеры для заполнителей; 3 - автобетоновозы; 4- раздаточный бункер готовой смеси; 5,9 - дозаторы; 6 - поворотная воронка; 7 - расходные бункера; 8 - элеватор; 10 - воронка, 11 - смеситель.

В настоящее время практически все партерные бетоносмесительные установки как в нашей стране, так и за рубежом выпускаются только в блочном исполнении. На месте эксплуатации осуществляется только монтаж блоков и стыковка коммуникаций, для чего достаточно несколько рабочих смен.

Отечественной промышленностью серийно выпускается три типоразмера партерных БСУ: СБ-140, СБ-134 и СБ-145 с циклическими смесителями с объемами (по загрузке) соответственно 375, 750х2 и 1500 л и бетоно- смесительная установка непрерывного действия СБ-75 и СБ-109А производительностью соответственно 30 и 135 м<sup>3</sup>/ч.

БСУ бывают как моноблочные, так и состоящие из нескольких самостоятельно перемещаемых модулей. Мобильные БСУ в отличие от блочных перемещаются на собственной колесной базе на буксире и, как правило, не требуют для монтажа применения грузоподъемных механизмов, а перевод мобильных установок из транспортного в рабочее положение занимает несколько часов.

У нас в стране серийно выпускается мобильная бетоносмесительная установка СБ-140 производительностью 12 м<sup>3</sup>/ч. Установка СБ-140 самомонтирующаяся с циклическим бетоносмесителем оснащена радиальным складом заполнителей. Для её перебазирования используют подкатный одноосный прицеп.

За рубежом мобильные бетоносмесительные установки применяют весьма широко. Например, фирма "Эльма" (Германия) выпускает мобильные установки широкой номенклатуры ( 10 , 15 , 25 , 35 , 45 , 60 м<sup>3</sup>/ч ) В США фирма "Кёриг" выпускает БСУ, оснащенную двумя бетоносмесителями с объемом готового замеса по 7,6 м<sup>3</sup> каждый. Производительность этой установки 730 м<sup>3</sup>/ч.

Основным механизмом бетоносмесительных установок и заводов являются смесители. Европейским комитетом по строительному оборудованию в основу классификации циклических смесительных машин положен конструктивный признак самого смесителя, а именно: форма корпуса и расположение смесительных

валов. По этому признаку смесители классифицируются на гравитационные (барабанные); принудительного действия тарелчатые с вертикально расположенными смесительными валами и принудительного действия - лотковые с горизонтально расположенными смесительными валами (рис. 5.3).

Коэффициент выхода бетона для тяжелых бетонов принимается в среднем 0,67; для бетонов на легких заполнителях - 0,75 и для бетонов ячеистых - 0,80.

### **5.5. Транспортирование бетонной смеси**

Способ транспортирования бетонной смеси на строительную площадку зависит от расстояния от площадки до завода, вида бетонизируемого сооружения, наличия транспортных средств и свойств бетонных смесей.

Процесс транспортирования включает следующие технологические операции: загрузка бетонной смеси в транспортные средства из бункера БСУ; перевозка её на объект; перегрузка в раздаточные емкости (бадья, бункера); подача и распределение бетонной смеси в блоке бетонирования

Бетонную смесь отличает неустойчивость свойств и склонность к быстрому ухудшению её качества, поэтому следует отдать предпочтение способам перевозки смеси с минимальным числом перегрузок.

У бетонной смеси уже в течение первых часов после её приготовления снижается подвижность, она начинает схватываться; поэтому время её транспортирования должно быть строго ограниченным. К моменту окончания укладки и уплотнения бетонная смесь должна иметь заданную подвижность, в ней не должен начинаться процесс схватывания.

Ориентировочно время транспортирования бетонных смесей на портландцементе должно быть не более:

температура бетонной смеси, °С.....	20-30	10-20	2-10
время транспортирования, мин.....	45	90	120

Наибольшее расстояние перевозки бетонной смеси зависит от допустимого времени нахождения её в пути, состояния дорог и средней скорости транспортных средств (табл. 5.20; 5.21).

Способы транспортирования бетонной смеси подразделяют на порционные (циклические), непрерывные и комбинированные.

Порционные способы перевозки бетонной смеси выполняют в два этапа: перевозка её от завода до строительной площадки (к месту разгрузки) и подача бетонной смеси от места разгрузки к месту укладки в опалубку. На первом этапе транспортирования используют автосамосвалы, автобетоновозы, автобадьевозы, автобетоносмесители и т.д.

Непрерывный способ транспортирования смеси заключается в перемещении её непосредственно от места изготовления к месту укладки на транспортерах или по трубопроводу.

При комбинированном способе сочетают порционное перемещение смеси от БСУ на объект с последующей непрерывной её подачей в блок бетонирования транспортерами или по трубопроводам.

Для доставки бетонных смесей применяют различные по своему назначению специальные автомобили: автобетоносмесители, автобетоновозы, автобадьевозы, перегружатели, а также усовершенствованные автомобили-самосвалы.

**Таблица 5.20 – Предельные расстояния доставки тяжелых бетонных смесей**

Подвижность бетонной смеси, см.	Вид дорожного покрытия	Скорость транспортирования, км/ч	Дальность доставки, км., в режиме:								
			Автобетоносмесителем			Автобетоновозом		Автосамосвалом		Автобамбеевозом	
			А	Б	В	Г	Д	Г	Д	Г	Д
1...3 4...6 7...9 10...14	Жесткое (асфальтовое, асфальтобетонное и т.п.)	30	-	120	100	45	90	30	45	25	35
-			100	80	30	60	20	30	15	25	
-			80	60	20	40	15	22	10	20	
-			60	45	15	30	-	15	-	-	
1...3 4...6 7...9 10...14	Мягкое (грунтовое, улучшенное)	15	-	-	-	12	20	7	10	5	7
-			-	-	9	15	5	7	3	5	
-			-	-	5,5	9	4	5	2	3	
-			-	-	4	7	-	-	-	-	

*Примечание: Данные приведены для условий: температура воздуха +20...+30<sup>0</sup>С;  
Температура бетонной смеси +15...+25<sup>0</sup>С*

**Таблица 5.21 – Предельные расстояния доставки легких бетонных смесей**

Подвижность бетонной смеси, см.	Вид дорожного покрытия	Скорость транспортирования, км/ч	Дальность доставки, км., в режиме:							
			Автобетоносмесителем			Автобетоновозом		Автосамосвалом		Автобадье-возом
			А	Б	В	Г	Д	Г	Д	Г
1...3 4...6 7...9 10...14	Жесткое (асфальтовое, асфальтобетонное и т.п.)	30	Не	10	80	30	50	25	40	20
огра-			80	60	25	40	18	30	13	
ниче-			70	50	15	30	10	15	8	
на			60	40	10	20	8	10	6	
1...3 4...6 7...9 10...14	Мягкое (грунтовое, улучшенное)	15	-	-	-	10	16	7	-	5
-			-	-	7	12	4	-	3	
-			-	-	5	8	3	-	2	
-			-	-	3	5	2	-	1,5	

Примечание: Данные приведены для условий: температура воздуха +20...+30<sup>0</sup>С;  
Температура бетонной смеси +15...+25<sup>0</sup>С

Автобетоносмесители (табл.5.22) предназначены для перевозки сухих бетонных смесей и приготовления из них в пути следования готовых смесей с побуждением (дополнительным перемешиванием) их в пути, а также частично приготовленных смесей. Автобетоносмесители, как правило, используются для доставки подвижных бетонных смесей на значительные расстояния с последующей укладкой их бетононасосом.

В зависимости от вида смеси, загружаемой в барабан автобетоносмесителя, возможна его работа в трех режимах:

- при доставке сухой смеси, содержащей высушенные заполнители (влажность не более 0,2...0,5%) при перемешивании их с водой в пути за 10...20 мин до разгрузки (режим А);
- при доставке сухой смеси, содержащей влажные заполнители, или частично затворенной смеси (шрик-бетон) (режим Б);
- при доставке готовой смеси - периодическое включение барабана во время транспортирования до объекта (режим В).

Автобетоновозы (табл. 5.23) предназначены для перевозок готовых бетонных смесей без их побуждения в пути (режим Г) на расстояния до 45км. Автобетоновоз имеет высокий кузов каплевидной формы, закрепленный в зоне минимальной вибрации рамы базового автомобиля. Кузов имеет крышку и двойную обшивку. Угол подъема кузова до 90°.

В условиях отсутствия спецавтотранспорта допустимо применение автомобилей-самосвалов (табл.5.24) на коротких расстояниях при условии наращивания бортов кузова не менее чем на 400 мм, уплотнения мест примыкания заднего борта к кузову листовой резиной.

В ряде случаев возможна перевозка бетонной смеси автобадьевозами. Готовую смесь загружают в специальные бункеры (бадьи) и ставят на раму автомобиля с помощью крана.

Автобетоновозы, автомобили-самосвалы и бадьевозы могут применяться для доставки частично затворенных бетонных смесей (режим Д) с их последующим приготовлением на строительной площадке.

Небольшие порции бетонной смеси (до 0,1...0,2 м) доставляют на короткие расстояния различными автомототележками, имеющими специальный опрокидной кузов.

Для совмещения функций доставки и укладки бетонных смесей автобетоносмесители снабжают навесными распределительными конвейерами длиной 6,9 и 12 м, а автобетоновозы - лотками. Некоторые зарубежные автобетоносмесители оборудованы бетононасосами с бетонораспределительной стрелой.

Для доставки смеси в условиях низких температур применяют автобетоновозы со специальными термоактивными кузовами, позволяющими подогревать смеси. В этих же целях применяют автобетоносмесители с подогреваемым водяным баком.

Для подогрева бетонных смесей, доставляющихся в неутепленных автомобилях-самосвалах, используют специальные электроустановки, снабженные опускаемыми в кузов автомобиля электродами, а также приемные бункеры со специальными разогревающими устройствами.

**Таблица 5.22 – Технические характеристики автобетоносмесителей.**

Параметры	Значения параметров для :				
	СБ-60Б	СБ-92	СБ-92-1	СБ-130	СБ-159
1	2	3	4	5	6
Объем перевозимой смеси, м <sup>3</sup>	2,6	4	4	4	5
Объем барабана, наклоненного к горизонту под углом 15 <sup>0</sup> , м <sup>3</sup> .	6,1	6,1	6,1	14	8
Вместимость бака воды, л.	630	850	850	1700	850
Мощность двигателя механизма вращения барабана, кВт	30	37	37	52	-
Частота вращения барабана, об/мин	6...12	6,5...14,5	6,5...14,5	4...14	0...20
Тип базового автомобиля	МАЗ-503А	КРАЗ-259	КаМАЗ-5511	КаМАЗ-5511	КаМАЗ-5511
Высота загрузки материалов, мм	3420	3520	3520	3850	3350
Размеры, мм:					
длина	6630	8030	6630	11720	7250
ширина	2630	2650	2630	2500	2500
высота	3420	3520	3420	3700	3350
Масса загруженного автобетоносмесителя, кг.	15300	22200	15200	29200	23200

Примечание:

1. Консистенция приготовленной смеси по осадке конуса более 1 см.
2. Наибольшая скорость передвижения на прямых участках дороги с покрытием 60 км/ч.

**Таблица 5.23 – Технические характеристики автобетоновозов**

Показатели	СБ-113	СБ-124
1	2	3
Марка базового автомобиля	ЗИЛ ММЗ-555К	КаМАЗ-5511
Объем перевозимой смеси, м <sup>3</sup>	1,6	4
Геометрический объем кузова, м <sup>3</sup>	3,0	7,3
Угол подъема кузова, град.	90	85
Размеры в транспортном положении, мм:		
длина	5800	6660
ширина	2500	250
высота	2745	2680
Масса, кг, в снаряженном состоянии,	5230	10350
В грузеном состоянии	9300	19150

**Таблица 5.24 – Технические характеристики автомобилей-самосвалов**

Показатели	ГАЗ-93А	ГАЗ-ММЗ-555	МАЗ-503А
Объем перевозимой смеси, м <sup>3</sup>	0,8	До 2	До 3,2
Масса в грузеном состоянии, кг	5300	9295	15250
Габариты, мм:	5420x2090x x2130	5475x2420x x2350	5785x2500x x2700
Наибольший угол наклона кузова, град	48	55	55
Время подъема грузеного кузова, с.	15	15	15
Время опускания грузеного кузова, с.	20	20	10

В ряде случаев при доставке бетонных смесей используют перегрузочные подъемные бункеры и специальные перегружатели-смесители. Бункеры служат для приема смеси из автомобилей-самосвалов, а также для хранения её при необходимости создания запаса бетонной смеси; перегружатели-смесители используют для приема смеси из автомобилей-самосвалов и автобетоновозов, восстановление её однородности и подвижности и постепенной выгрузки в приемные бункеры бетононасосов и другого оборудования.

Количество транспортных средств (N) выбирают с учетом дальности перевозки, вида дороги, погодных условий, состава и подвижности смеси, а также требуемого в смену потока бетона:

$$N = \frac{Q}{S} \cdot M^3 / \text{смену}, \quad (5.42)$$

где: Q – общий объем укладываемой бетонной смеси при бетонировании конструкций на объекте;  
S – количество смен бетонирования.

$$N = \frac{Q}{60 \cdot t_{CM} \cdot q \cdot \beta} \cdot \left( t_{\Pi} + t_P + t_M + t_{\text{ПЕР}} + \frac{60l}{V} + \frac{60l_1}{V_1} \right), \quad (5.43)$$

где:  $t_{CM}$  – длительность смены, ч;

Q – грузоподъемность транспортной машины;

$\beta$  – коэффициент использования машины по грузоподъемности;

$t_{\Pi}$  – длительность погрузки, мин;

$t_P$  – то же, разгрузки, мин;

$t_M$  – то же, маневрирования до разгрузки, мин;

$t_{\text{пер}}$  – дополнительное время на перемешивание смеси (для автобетоно-смесителей), мин;

$l_1$  – расстояние от объекта до завода-изготовителя бетонной смеси, км;

$l$  – расстояние от завода до объекта, км;

V – скорость машины с грузом, км/ч;

$V_1$  – то же, без груза, км/ч.

Необходимое количество транспортных средств для перевозки бетонной смеси может быть также рассчитано по формуле:

$$N = \frac{t_{\Pi} + t_{TP} + t_M + t_P}{t_y} + 1, \quad (5.44)$$

где:  $t_{TP} = (60(l+l_1))/V_{CP}$  – время нахождения автотранспортных средств в пути, мин;

$V_{CP}$  – средняя скорость движения автотранспортного средства, км/ч;

$t_y = (60q)/l$  – время укладки в конструкцию бетонной смеси, доставляемой за один рейс, мин.

I – интенсивность бетонирования,  $M^3$  /смену.

Интенсивность укладки бетонной смеси при заданных сроках бетонирования конструкций может быть рассчитана по формуле:

$$I = \frac{V_{\text{общ}}}{T_{\text{укл}} \cdot t_{CM} \cdot A}, \quad (5.45)$$

где:  $V_{\text{общ}}$  – общий объем бетона,  $M^3$

$T_{\text{укл}}$  – продолжительность укладки бетонной смеси в конструкции сооружения, дни;

A – количество рабочих смен в сутки по укладке бетонной смеси;

$t_{CM}$  – продолжительность смены, ч.

**Таблица 5.25 – Пооперационные затраты времени**

Параметры перевозки	Автобетоносмеситель	Автобетоновоз	Автосамосвал
Время погрузки (тп), мин	12	6	6
Время разгрузки (тр), мин	15	1,5	3
Время маневрирования (тм), мин	6	3	3

**Таблица 5.26 – Скорости пробега машин**

Тип пробега	Тип дорожного покрытия	Скорость пробега, км/ч		
		Тип автотранспорта		
		Автобетоносмеситель	Автобетоновоз	Автосамосвал
груженный	жесткое	25	30	30
	мягкое	15	15	15
порожний	жесткое	35	40	40
	мягкое	18	20	20

### 5.5.1 Организация транспортирования бетонной смеси

Задачей организации работы транспортных средств при перевозке бетонной смеси с бетоносмесительного завода на строительную площадку является обеспечение бесперебойной поставки бетонной смеси на объект и исключение простоев бетоноукладочной техники.

С этой целью в зависимости от расстояния транспортирования бетонной смеси, продолжительности технологических процессов приготовления бетонной смеси, укладки её в опалубку и скорости движения транспортных средств определяется количество и график их работы. На основании этих расчетов составляется график их доставки бетонной смеси в форме таблицы (табл. 5.27).

Параметры таблицы определяются в следующем порядке:

- останавливается время начала ( $t_{н.ц.}$ ), укладки бетонной смеси и конца её укладки ( $t_{к.ц.}$ ), привезенной за один рейс согласно "Единых норм..." на эти работы.
- согласно данных, приведенных в табл. 5.25; 5.26, заполняются графы 13...17 таблицы 5.27.
- определяется время прибытия транспорта на строительную площадку графа 7 табл. 5.27.

$$t_{п.л.} = t_{н.ц.} + \frac{t_M}{2}, \quad (5.46)$$

где:  $t_M$  - время маневрирования транспорта при подъезде под расходный бункер на БСУ и при подъезде к месту разгрузки на строительной площадке.

- определяется время выезда с завода транспорта после его загрузки бетонной смесью:

$$t_{в.з.} = t_{п.л.} - t_{сп.}, \quad (5.47)$$

где:  $t_{гр} = L/V_{гр}$

L - расстояние от БСУ до строительной площадки;

$V_{гр}$  – средняя скорость движения транспорта с бетонной смесью

д) определяется время прибытия автотранспорта на БСУ (графа 5):

$$t_{п.з.} = t_{в.з.} - t_{п.} - \frac{t_{м.}}{2}, \quad (5.48)$$

где:  $t_{п.}$  - время погрузки транспортного средства бетонной смесью на БСУ.

**Таблица 5.27 – Диспетчерский график доставки бетонной смеси**

№ смены	№ рейса	№ транспортного средства	Объем бетонной смеси, доставляемый за один рейс, м <sup>3</sup>	Доставка бетонной смеси на строительную площадку				
				Время прибытия на завод, ч-мин	Время выезда с завода, ч-мин	Время прибытия на строительную площадку, ч-мин	Время выезда со строительной площадки, ч-мин	Время прибытия на завод (поворотное) со строительной площадки
1	2	3	4	5	6	7	8	9

продолжение табл. 5.27

Укладка бетонной смеси			Составляющие цикла транспортного средства, ч-мин				
Продолжительность укладки бетонной смеси, ч-мин	Время, ч-мин		Общая продолжительность рейса, ч-мин	Продолжительность погрузки, ч-мин	Время нахождения в пути, ч-мин	Продолжительность разгрузки, ч-мин	Время маневрирования, ч-мин
	Начало укладки	Конец укладки					
10	11	12	13	14	15	16	17

е) определяется время выезда транспорта со строительной площадки (графа 8):

$$t_{в.п.} = t_{н.ц.} + t_{р.}, \quad (5.49)$$

где:  $t_{р.}$  - время разгрузки бетонной смеси на строительной площадке.

ж) Находится время повторного прибытия транспорта, на завод (графа 9):

$$t_{п.з.} = t_{в.п.} + t_{пор.}, \quad (5.50)$$

где:  $t_{пор.}$  - время движения транспорта в порожнем состоянии со строительной площадки на бетоносмесительный завод.

## 5.6. Укладка бетонной смеси.

### 5.6.1. Общие требования

Бетонная смесь, доставленная к месту укладки, должна быть такой же однородной и удобоукладываемой, какой она была при выгрузке из бетоносмесителя.

Для того, чтобы бетонная смесь не расслаивалась, необходимо:

- при загрузке транспортных средств и при перегрузках обеспечить вертикальное падение смеси центрально к загружаемой таре;

- выгружать бетонную смесь в опалубку с небольшой высоты: до 1 м - на перекрытие, до 2 м - в остальные конструкции;
- выполнять подачу бетонной смеси с высоты, превышающей допустимую, при помощи хоботов и виброхоботов.

Наиболее целесообразно, чтобы транспортирование и подача бетонной смеси в опалубку осуществлялось одними и теми же средствами (например, автобетоновозами, автобетоносмесителями). Однако это не всегда возможно и укладка бетонной смеси с места разгрузки в опалубку осуществляется другим оборудованием (кранами, конвейерами, бетононасосами, бетоноукладочными машинами и др.). При этом необходимо стремиться к тому, чтобы число перегрузок смеси было минимальным.

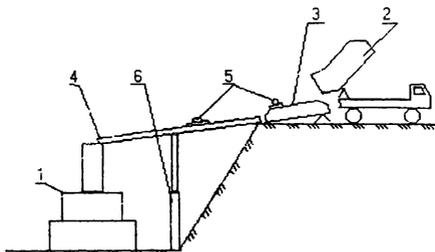
### 5.6.2. Подача бетонной смеси по виброжелобам

Относительно простым способом укладки бетонной смеси в конструкцию является подача её с помощью вибропитателя и виброжелобов (рис.5.4).

Бетонная смесь подается в конструкцию под уклон на расстояние не более 20 м. Виброжелоба устанавливают под углом 5...20° к горизонту. Наибольшая скорость подачи достигается при высоте слоя бетонной смеси 20...23 см. Вибротранспортное оборудование конструкции ЦНИИОМТП представляет собой вибропитатель с виброжелобами длиной 4 и 6 м и инвентарными подвесками. Угол наклона вибропитателя 6°5

Техническая характеристика вибропитателя.

Подача, м/ч .....	12
Вместимость, м <sup>3</sup> .....	1,6
Ширина, загрузочной части, мм .....	2400
Высота, мм .....	600
Сечение загрузочного устройства, м3 .....	0,13
Тип вибратора .....	ИВ-92
Число вибраторов .....	2
Мощность, кВт .....	2x0,6
Габаритные размеры, мм .....	3000x2520x1050
Масса, кг .....	759



**Рис.5.4. – Подача бетонной смеси по виброжелобам.**

1 - бетонизируемая конструкция, 2 - автобетоновоз, 3 - вибропитатель,  
4 - виброжелоб, 5 – вибратор, 6-телескопическая стойка с пружинной подвесной.

#### Техническая характеристика виброжелоба.

Подача, м/ч .....	12
Длина, мм .....	4000 и 6000
Тип вибратора .....	ИБ-92
Мощность, кВт .....	0,6
Напряжение, В .....	36
Частота колебаний С-1 .....	280
Масса, кг .....	181 и 234

### 5.6.3. Подача бетонной смеси кранами

В настоящее время в большинстве бетонирование монолитных конструкций производят по схеме "кран-бадья". Для бетонирования конструкций нулевого цикла применяют самходные гусеничные и пневмоколесные краны, а для бетонирования конструкций, расположенных на высоте, - башенные краны, соответствующей грузоподъемности, вылета стрелы и высоты подъема крюка.

Широкое применение кранового способа подачи бетона определяется тем, что данный способ применим для любых объемов и конструкций монолитного строительства. Краны, помимо подачи бетонной смеси, используют также на монтаже арматуры и закладных деталей, установке опалубки, а также на погрузочно-разгрузочных работах.

В комплексном технологическом процессе бетонирования, который включает транспорт, подачу, распределение в опалубке и уплотнение бетонной смеси, краны являются ведущими машинами, определяющими темп бетонирования и производительность всей технологической цепи.

Сменную эксплуатационную производительность крана на подаче бетонной смеси ( $\text{м}^3/\text{смену}$ ) определяют по формуле:

$$\Pi_{\text{э}} = \frac{60 * V \cdot t_{\text{см}} * K_{\text{в}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (5.51)$$

где:  $V$  - объем порции бетонной смеси, загружаемой в бадью или бункер  $\text{м}^3$ ;

$t_{\text{см}}$  - продолжительность смены, ч;

$K_{\text{в}}$  - коэффициент использования крана по времени, учитывающий технологические и организационные перерывы в работе крана, принимаемый для кранов с электроприводом без выносных опор - 0,82; то же с выносными опорами - 0,80; для кранов с двигателями внутреннего сгорания без выносных опор - 0,78; то же, с выносными опорами - 0,76,

$T_{\text{ц}}$  - продолжительность рабочего цикла, мин

Продолжительность рабочего цикла определяется по формуле:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{р}} + t_{\text{с}} + 2t_{\text{п}} + t_{\text{ц}}, \quad (5.52)$$

где:  $t_{\text{р}}$  - время разгрузки бетонной смеси из автобетоновоза в бадью (0,5... 1,5 мин.).

$t_{\text{с}}$  - время строповки и расстроповки бадьи, мин;

$t_{\text{п}}$  - время подачи краном бадьи с бетонной смесью в блок бетонирования, мин. Оно зависит от высоты подачи и скорости подъема, а также от расстояния и скорости горизонтального перемещения.

$$t_n = \frac{2H_K}{V_1} + \left( \frac{2\alpha}{360 * n} + \frac{S_K}{V_2} \right) * K_{сов} + \frac{S_n}{V_3}, \quad (5.53)$$

где:  $H_K$  – требуемая высота подъема (опускания) крюка с грузеной и порожней бадьей, м

$V_1$  – скорость подъема и опускания крюка, м/мин;

$\alpha$  – угол поворота стрелы крана при подаче бады к месту укладки бетонной смеси с места ее разгрузки, град;

$n$  – частота вращения крана, мин<sup>-1</sup>.

$S_K$  – величина изменения вылета крюка или перемещения грузовой тележки по горизонтальной стреле, м;

$V_2$  – скорость перемещения груза по горизонтали при изменении вылета крюка или скорость передвижения грузовой тележки для башенных кранов;

$K_{сов}$  – коэффициент, учитывающий совмещение рабочих операций крана, принимаемый – 0,75;

$S_n$  – путь перемещения крана с грузом, м;

$V_3$  – скорость передвижения крана, м/мин;

$t_{ц}$  – время укладки бетонной смеси в конструкцию, мин (при бетонировании массивных конструкций  $t_{ц}=1...3$  мин, тонкостенных,  $t_{ц}=5...8$  мин)

При сменной производительности крана определяют, с одной стороны, состав звена бетонщиков, а с другой - количество автобетоновозов, необходимых для бесперебойной доставки бетонной смеси на объект. Число автобетоновозов определяется по формуле:

$$N = \frac{K_{рез} * \Pi_{э}}{\Pi_A}, \quad (5.54)$$

где:  $K_{рез}$  - коэффициент, учитывающий резерв производительности кранов, как ведущих машин ( $K_{рез}=0,85...0,90$ );

$\Pi_A$  - эксплуатационная производительность автобетоновоза в смену, определяется (м) по формуле:

$$\Pi_A = \frac{60 * V' * t_{см} * K_B}{t'_{ц}}, \quad (5.55)$$

где:  $V'$  - объем бетонной смеси, загружаемой в автобетоновоз, м<sup>3</sup>;

$t_{см}$  - продолжительность смены, ч;

$K_B$  - коэффициент использования транспортной единицы во времени, он колеблется в пределах от 0,85 до 0,92;

$t'_{ц}$  - продолжительность транспортного цикла (мин), равная:

$$t'_{ц} = t_3 + \frac{2l * 60}{V_{ср}} + t'_p. \quad (5.56)$$

где:  $t_3$  – время загрузки бетоновоза бетонной смесью на заводе, мин;

$l$  – расстояние перевозки, км;

$V_{ср}$  – средняя скорость движения бетоновоза, км/ч;

$t'_p$  – время разгрузки бетонной смеси из бетоновоза в бадью, мин.

Доставляемая на строительный объект бетонная смесь подаётся кранами в различных емкостях (бадья, виброковши, бункера и др.) и выгружается в опалубку бетонизируемой конструкции. Основные технологические требования, предъявляемые к бадьям: герметичность, исключение потерь цементного раствора, удобство загрузки и разгрузки, очистки, минимальная масса и минимальный вертикальный размер бадьи в рабочем положении (вывешенной на крюке крана); регулируемая выгрузка бетонной смеси, (что особенно необходимо при бетонировании), армированных и протяженных конструкций; правильность расположения, надежность и удобство в эксплуатации строповочных петель.

По принципу действия и устройству бадьи подразделяются на поворотные и неповоротные. Для бетонирования немассивных конструкций (отдельно стоящие фундаменты, колонны, перекрытия и т.п.) рекомендуется применять бадьи объемом 0,5...1,0м<sup>3</sup>, для конструкций сред ней массивности (фундаменты под здания, сооружения и т.п) - объемом 1...2 м<sup>3</sup>, для массивных конструкций - объемом 2 м<sup>3</sup> и более (табл. 5.28 и 5.29).

**Таблица 5.28 – Техническая характеристика вибраторных бадей для подачи бетонной смеси**

Показатель	Вместимость, м <sup>3</sup>			
	0,3	0,5	0,75	1,0
Габариты, мм	900x900x700	1070x910x1000	1440x1200x900	1270x1100x1200
Масса, кг	125	180	260	275

**Таблица 5.29 – Техническая характеристика поворотных бадей для подачи бетонной смеси**

Показатель	Вместимость, м <sup>3</sup>				
	0,36	0,8	1,0	1,2	1,6
Габариты, мм (положение загрузки)	2200x540x900	1820x1150x900	3200x1700x1060	3000x1700x1060	4350x2480x860
Масса, кг	166	370	710	700	1060

На бадьях для бетонной смеси применяются, как правило, секторные, челюстные, реже - клапанные затворы. Затворы снабжены ручным приводом, рычажным или винтовым, со штурвалом. Секторные затворы, как вогнутые, так и выпуклые, применяют как для нижней, так и для боковой выгрузки бетонной смеси, челюстные - только для нижней выгрузки.

Подача бетонной смеси в поворотных бадьях на строительной площадке производится следующим образом. В зоне действия крана укладывается настил из щитов, на котором вплотную одна к другой устанавливают поворотные бадьи. Автосамосвал, выгружаясь, равномерно заполняет бадьи бетонной смесью. Вместимость кузова транспортного средства должна быть кратна вместимости бадей, а ширина кузова - кратна или равна ширине загрузочного отверстия бадьи. Вместимость бадей целесообразно приравнять объему одного или нескольких замесов бетоносмесителя. При загрузке поворотная бадья должна заполняться на 0,65...0,7 своего геометрического объема, а неповоротная - на 0,8...0,85.

Процесс распределения бетонной смеси в опалубке конструкции может быть механизирован с помощью бадей, оснащенных приводными затворами или специальными питателями.

Секторный затвор бадьи открывают и закрывают с помощью привода от электродвигателя, клиноременной передачи и червячного редуктора.

Дальнейшим совершенствованием конструкции бадьи является оснащение её приводным шнековым питателем. Они удобны для бетонирования стенок резервуаров и колонн. Конец шнекового питателя заглубляется непосредственно в опалубку бетонируемой конструкции.

Разработаны поворотные бадьи с вибропитателем. Производительность бадьи при выгрузке бетонной смеси составляет 5 м<sup>3</sup>/ч (при наклоне питателя 5° и осадке конуса бетонной смеси 1 см), 19 м<sup>3</sup>/ч (при наклоне питателя 15° и осадке конуса бетонной смеси 5 см).

Техническая характеристика бадьи с вибропитателем.

Вместимость, м ..... 1,25

Пределы изменения угла наклона

вибрлотка, град ..... 0...15

Габариты, мм ..... 3700x1900x2200

Масса, бадьи, кг ..... 700

К недостаткам производства бетонных работ с помощью кранов относится невозможность подачи бетона в труднодоступные места, цикличность в подаче бетонной смеси, неполное использование кранов по грузоподъемности, отсутствие дистанционного управления разгрузки бадьей.

#### **5.6.4. Укладка бетонной смеси бетононасосами и пневмонагнетателями**

Бетононасосный транспорт относится к наиболее прогрессивному способу подачи и укладки бетонной смеси в построечных условиях. Его рекомендуется применять для любых частей сооружения, расположенных как низко, так и высоко, для густоармированных конструкций и для укладки бетонной смеси в труднодоступные места.

Укладка бетонной смеси по трубам под давлением улучшает её однородность и удобоукладываемость, в конечном счете, увеличению плотности и прочности уложенного бетона.

Использование бетононасосов вводит жесткий ритм во все процессы укладки и бетонирования конструкций, повышающий общий темп строительных работ. При этом требуется более четкая организация бетонных работ как в приготовлении и доставке бетонной смеси на объект, так и в соблюдении тщательного подбора и контроля её состава и качества необходимого ухода за бетоно-транспортным оборудованием.

Укладка бетонной смеси бетононасосами является комплексным технологическим процессом, включающим ее приемку в загрузочный бункер бетононасоса из бетоно- или автобетоносмесительного оборудования, подачу смеси по трубам к месту укладки, её распределение в зоне бетонирования.

Бетонные смеси, перекачиваемые по трубам, должны обладать повышенной связностью, однородной структурой, удобоперекачиваемостью (способность перемещаться по бетоноводу без расслоения и образования пробок под воздействием внешних сил) и обеспечивать получение требуемых физико-

механических характеристик бетона. Для обеспечения удобоперекачиваемости бетонной смеси необходимо, чтобы в его составе объем цементного теста превышал объем пустот, смеси мелких и крупных заполнителей не менее, чем на 40 л/м<sup>3</sup>. Рекомендуемая подвижность удобоукладываемой бетонной смеси находился в пределах 5...14 см осадки конуса при водоцементном отношении, не превышающем 0,75, а оптимальные параметры осадки конуса 6...10 см при В/Ц=0,5...0,6. При определении расхода воды в бетонной смеси необходимо учитывать водоудерживающую способность цемента и величину водопоглощения мелких и крупных заполнителей.

Оптимальная подвижность бетонной смеси достигается правильным соотношением между растворной частью и расходом крупного заполнителя. Так, при использовании крупных заполнителей фракций 5...20 мм объем растворной части на 1м<sup>3</sup> должен быть не менее 550-650 л/м<sup>3</sup>. Чем больше расход крупного заполнителя в определенных пределах, тем меньше должен быть диаметр бетоновода (80-100 мм).

При определении расхода цемента необходимо соблюдать марку бетона и поддерживать заданную удобоукладываемость, что достигается оптимальным содержанием в смеси цемента и мелких пылевидных частиц песка размером менее 0,16 мм. Суммарная масса при применении в качестве крупного заполнителя гравия должна быть 330-380 кг/м<sup>3</sup>, а при применении щебня - 380-430 кг/м<sup>3</sup> при расходе цемента не менее 250кг/м<sup>3</sup>.

Для смесей, перекачиваемых по трубам, предпочтительнее применение пластифицированных цементов и цементов высоких марок с тонким помолом.

Песок для бетонных смесей, перекачиваемых по трубам, должен содержать до 3-7% мелких частиц крупностью менее 0,16 мм и 15-20% крупностью менее 0,315 мм. При отсутствии в песке мелких фракций последние заменяются кварцевой мукой, золой-уносом, трассом и т.п.

Содержание мелких фракций, однако, должно быть не более 20% по массе цемента для исключения расслаиваемости смеси.

Доля песка в общей массе заполнителей при применении гравия должна находиться в пределах 32-50%, и при применении щебня - 40-60%.

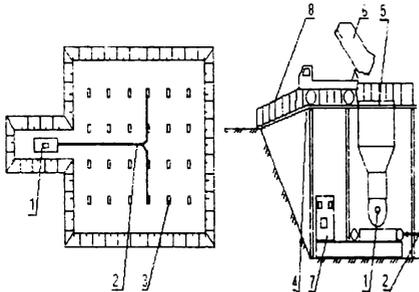
Максимальный размер крупного заполнителя должен быть не более 1/3 размера внутреннего диаметра бетоновода при использовании щебня и не более 0,4 - при использовании гравия.

Желательно вводить в бетонную смесь, перекачиваемую по трубам, пластифицирующие, воздухововлекающие, газообразующие добавки и замедлители схватывания.

Наибольшее применение в настоящее время получили поршневые бетононасосы с гидравлическим приводом. Их привозят на трейлерах, а в пределах строительной площадки передвигают волоком с помощью трактора или переставляют кранами. При бетонировании конструкций нулевого цикла бетононасос устанавливают в небольшой выемке и над ним монтируют инвентарную эстакаду с пандусом для въезда бетоновозов с бетонной смесью (рис. 5.4).

Ввиду того, что переставлять бетононасос с устройством эстакады, трудоемко, место для него выбирают так, чтобы весь объем бетона на объекте или большую его часть можно было уложить с одной стоянки с перекладкой бетоновода.

Наиболее рационально применение передвижных бетононасосных установок на автомобильном ходу (СВ-126А, БН-80-20) или на автоприцепе (СБ-95) с распределительной стрелой.



**Рисунок 5.5. – Подача бетонной смеси бетононасосами.**

а) - бетонирование фундаментов с помощью бетононасосов;

б) - установка бетононасоса.

1 - бетононасос, 2 - бетоновод, 3 - фундаменты, 4 - эстакада, 5 - приемная воронка, 6 - автобетоновоз, 7 - пульт управления, 8 – ограждение

Техническая характеристика бетоноукладочной стрелы конструкции ЦНИИ-ОМТП (рис.5,6)

Максимальный вылет стрелы по горизонтали от оси вращения, м .....	25
Максимальная высота подъема стрелы от уровня стоянки, м .....	27
Максимальная глубина опускания стрелы, ниже уровня стоянки, м .....	14
Угол поворота, град: стрелы в плане .....	345
концевой секции стрелы относительно средней в вертикальной плоскости	165
средней секции стрелы относительно корневой в вертикальной плоскости	225
Время складывания стрелы из рабочего положения в транспортное, мин .....	5
Скорость поворота стрелы, мин .....	0,5
Управление движениями стрелы дистанционное с выносного щита	
Тип привода .....	гидравлический независимый
Давление в гидросистеме, МПа .....	25
Максимальное давление в бетонопроводе, МПа .....	2,5
Диаметр (внутренний) бетоновода, мм .....	105
Масса (без бетонной смеси), кг .....	6000

В зависимости от назначения применяют стационарные, прицепные и самоходные бетононасосные установки, оснащенные бетонопроводом или распределительной стрелой. Распределительная стрела выполняется или собственной или выносной - автономной.

Стационарные бетононасосы целесообразно применять на строительной площадке с большим объемом бетонных работ, оснащенной приобъектной бетоносмесительной установкой. Прицепные бетононасосы целесообразно применять в тех случаях, когда нет необходимости в частой перестановке и перебазировке его на объекте и с объекта на объект.

**Таблица 5.30 – Технические характеристики бетононасосов**

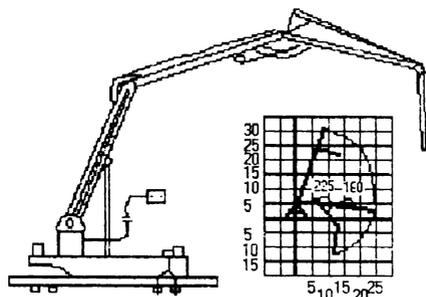
Показатели	Ед. изм	Значения показателей для бетононасосов марки:							
		СБ-126	БН-80-20	АБН-60	СБ-123	СН-95А	С-296	С-284А	СБ-9
Скорость подачи	м <sup>3</sup> /ч	15.65	80	60	40	25	10	40	10
Дальность подачи по:									
Горизонтали	м	400	400	180	300	250	250	250	250
Вертикали	м	80	80	35	50	50	40	30	40
Диаметр цилиндра	мм	180	180	230	180	220	150	280	150
Число цилиндров	шт	2	2	2	2	2	1	1	-
Диаметр бетоновода	мм	125	125	100	125	150	150	283	150
Вместимость приемного бункера	л	700	400	400	700	400	450	2800	450
Мощность установленных двигателей	кВт	210	220	132	76,7	56,7	16,2	60	14,8
Наибольшая крупность заполнителей	см	40	40	20	40	40	40	70	40
Подвижность бетонной смеси (осадка конуса)	см	4...14	4...14	4...12	4...14	4...12	4...12	4...12	5...12
Габариты									
длина	мм	10000	11070	-	4000	3880	2460	5940	2500
ширина	мм	2500	2630	-	1650	1900	1350	-	1350
высота	мм	3800	3800	-	1650	1435	1714	3175	1950
Масса	кг	16000	19785	-	4600	4500	2650	12000	8200
Масса технологического оборудования	кг	8000	-	-	-	-	-	-	-
Базовый автомобиль		КрАЗ-53213	КрАЗ-257	МАЗ-500А	-				

**Таблица 5.31 – Значение коэффициента  $\varphi_j^*$ .**

Диаметр бето- новода, м	$\alpha_j=30^\circ$				$\alpha_j=60^\circ$				$\alpha_j=90^\circ$			
	При М:											
	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0
0.080	14.4	28.8	43.2	57.6	32.4	64.8	97.2	129.6	55.5	111.0	166.5	222.0
0.100	10.8	21.6	32.4	43.3	24.2	48.4	72.6	96.8	41.6	83.2	124.7	166.4
0.125	9.9	18.0	27.0	36.0	20.2	40.4	60.6	80.86	35.0	70.0	105.0	140.0
0.150	7.2	14.4	21.7	28.9	16.1	32.2	48.8	4.4	27.7	55.4	83.1	110.8

Для переходных конусов ( $k_{кон}=1м$ ) к диаметрам бетоноводов: 0,08; 0,100; 0,125; 0,150 коэффициент  $\varphi_j^*$  соответственно принимается равным: 220; 200; 180 и 160.

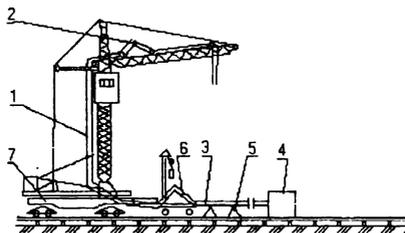
Бетоносмесительная стрела может быть размещена на базе башенного крана, например, КБ-100. В этом случае конструкция крана объединяет функции гру-



**Рисунок 5.6 – Бетоноукладочная стрела ЦНИИОПТМ вылетом 25м.**

зоподъемного механизма, и средства подачи бетонной смеси (рис. 5.7).

Автобетоносмесители с распределительной стрелой применяют на объекте с небольшими рассредоточенными объемами бетонных работ, когда требуют-



**Рисунок 5.7 – Распределительная стрела на базе крана КБ-100**

1 – вертикальный бетонопровод, 2 – подвижный бетонопровод, 3 – магистральный бетонопровод, 4 – бетононасос, 5 – регулируемая опора, 6 – компенсационное устройство, 7 – крановая установка.

ся частые перестановки оборудования внутри объекта, а также перебазировки оборудования с объекта на объект.

Бетононасосы целесообразно применять в тех случаях, когда интенсивность бетонирования превышает  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$  и при достаточно больших объемах бетона, укладываемых на объекте. На объекте необходимо обеспечить непрерывную работу бетононасоса, ритмично подавая к нему бетонную смесь. При длительных (свыше 30 мин) перерывах в бетонировании следует очистить бетоновод от смеси и промыть.

При отсутствии автобетоносмесителей можно применять автобетоновозы и автосамосвалы (при времени в пути не более 20-30 мин). При этом перед загрузкой в автобетононасос смесь необходимо повторно перемешать в бункере-перегрузателе.

Транспортability бетонной смеси по трубам оценивается количественными значениями следующих параметров:

$$X_{ц} = \frac{(B/C)_T}{K_{н.г.}}; X_{п} = \frac{V_T}{V_p * \Pi_p}; X_{щ(r)} = \frac{V_p}{V_b * \Pi_{щ(r)}}; \quad (5.57)$$

где:  $X_{ц}$  - относительное водосодержание цементного теста к расходу воды при его нормальной густоте ( $K_{н.г.}$ );

$(B/C)_T$  - фактическое водоцементное отношение цементного теста;

$X_{п}$  - степень заполнения цементным тестом пустот в песке;

$X_{щ(r)}$  - степень заполнения раствором пустот в крупном заполнителе (щебне, гравии);

$V_T/V_p$  - фактическая концентрация теста в растворной части;

$V_p/V_b$  - фактическая концентрация растворной части в бетонной смеси;

$V_T, V_p$  - абсолютные объемы, соответственно, цементного теста и растворной части в бетонной смеси;

$V_b$  - объем бетонной смеси;

$\Pi_p, \Pi_{щ(r)}$  - пустотность, соответственно, песка и щебня.

Полное сопротивление движению бетонной смеси в бетоноводе определяется из выражения  $R = \Delta P * l_{пр}$ , где  $\Delta P$  - сопротивление движению бетонной смеси на 1 м длины горизонтального участка бетонопровода, МПа/П;  $l_{пр}$  - общая, приведенная к горизонтальной, длина бетонопровода:  $l_{пр} = l_r + l_k + l_b$ , где  $l_r$  - общая длина горизонтальных участков,  $l_k$  - горизонтальная длина, эквивалентная числу и углам поворота колен бетоновода;  $l_b$  - горизонтальная длина, эквивалентная сопротивлениям вертикальных участков бетоновода.

Эквивалентные размеры длины горизонтального бетоновода, м (данные для расчета) равны:

один метр вертикального бетоновода, .....	8
колесо, град: 90.....	12
45.....	7
30.....	5
22,5.....	4
15.....	3

Ориентировочно для бетонных смесей с осадкой конуса 8 см, транспортируемых по трубопроводам с помощью гидравлических бетононасосов, значение  $\Delta P = 0,01...0,015$  на 1 м горизонтальной трубы.

В случае расчета состава бетонной смеси при подаче её по бетоноводу по методу проф. И.Н.Ахвердова расчет бетоновода выполняется по следующей методике. Рассчитывает значение предельного напряжения сдвига бетонной смеси  $\tau_0^6$  по данным расчета состава бетона:

$$\tau_0^6 = \frac{1 - X' * K_{н.г.}}{X' * K_{н.г.}} * r^2 * q * (\rho_{см}^3 - \rho_{ц.г.}) * \left( \frac{V'_{п} + V'_{щ} (1 - \Pi_{щ}^3)}{V_{ц.г.} + V'_{п} (1 - \Pi_{п}^3)} * \frac{V_{ц.г.}}{S_{см}} * 10^4, \text{Па}(\text{Н} / \text{м}^2), \right) \quad (5.58)$$

где:  $r = V'_{п} / (V'_{п} + V'_{щ})$  - относительное содержание песка в суммарном объеме заполнителей (долей единицы);

$\rho_{см}^3$  - ускорение свободного падения;  $\rho_{см}$  - средняя плотность зерен смеси заполнителей. Для кварцевго песка и гранитного щебня соответствует 2670 кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{ц.г}$  - средняя плотность цементного геля, примерно равная 1850, 1950, 2050 кг/м<sup>3</sup> для смесей с осадкой конуса равной соответственно 6...10см до 5см и жестких бетонных смесей. Остальные обозначения соответствуют принятым в методике расчета составов бетона.

Далее определяют расчетный диаметр бетоновода из выражения:

$$D_{вн} = \frac{\sqrt{4Q}}{3600 * \pi * V}, \text{ м} \quad (5.59)$$

где: Q - расчетная (принятая) подача бетона (расход) за 1 ч,

V - скорость движения смеси в бетоноводе в м/с, рекомендуемая при пневмоподаче - 1...1,5 м/с, бетононасосами - 0,5...1 м/с, допускается до 2 м/с.

Принимают бетоновод, внутренний диаметр которого обеспечивает расчетному и соответствует данным табл. 5.32(а) при соблюдении соотношения  $D_{см} \geq 3d$  наибольшего зерна крупного заполнителя.

Определяет расчетные потери давления в бетоноводе:

$$P_{расч} = a_m * \frac{2l_{пр} * \tau_0^6}{R_{вн}} + H * \rho_{б.с.} * g + \sum_{i=1}^n \varphi_i * \tau_0^6, \text{ Па} \quad (5.60)$$

где:  $a_m = 1,4$  - для смесей с ОК = 6...10 см, учитывает влияние сил инерции;

$l_{пр}$  - длина прямолинейных участков бетоновода, м;

$$l_{пр} = l_{общ} - l_{кон} - \sum_{i=1}^n m_i * H * \frac{\alpha_i}{180} * R_i, \text{ м} \quad (5.61)$$

где:  $l_{кон}$  - длина переходного конуса (1м);

$m_i$  - количество поворотов бетоновода радиусом  $R_i$ , м;

$\alpha_i$  - угол поворота бетоновода в град;

$R_{вн}$  - внутренний радиус бетоновода, м;

H - высота подъема смеси, м;

$\rho_{б.с.}$  - средняя плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>,

$g = 9,806 \text{ м/с}^2$ ;

$\varphi_i$  - коэффициенты местного сопротивления отдельных участков бетоновода, приведенные в табл. 5.31.

Определяют рабочее давление подачи бетонной смеси:

$$P = K_c * P_{расч}, \text{ МПа} \quad (5.62)$$

где  $K_c$  - коэффициент, учитывающий влияние случайных факторов, определяется по табл. 5.32.

**Таблица 5.32 – Значение  $K_c$ .**

Общая длина бетоновода, м	До 100	До 150	До 200	До 250	300 и более
Значение $K_c$	1,15	1,25	1,35	1,45	1,55

## Расчет труб бетоновода на прочность

Требуемая толщина стенок труб при рабочем давлении  $P$  составит:

$$\delta = \frac{P * D_{вн}}{(2 * G_{доп} * K + P) * 10^{-3}} + \Delta\delta, \text{ мм}, \quad (5.63)$$

где:  $G_{доп}$  - допускаемое напряжение на растяжение. Для Ст3 принимают  $G_{доп} = 140$  МПа, для диапазона температуры от 5 до 100°C.

$K$  - коэффициент качества труб, равный 1,0; 0,85 и 0,7 для труб бесшовных, сварных с контролем качества сварки и без него соответственно;

$\Delta\delta$  - увеличение толщины стен труб с учетом абразивного износа и коррозии, мм;  $\Delta\delta = 1-2$  мм при  $P \geq 16$  МПа и 2-5 мм при  $P > 16$  МПа с меньшими значениями для легированных сталей.

Допускаемое давление в бетоноводе с учетом износа труб определяется по следующей формуле:

$$P_{доп} = \frac{2(\delta - \Delta\delta) * K * \delta_{доп}}{D_{нар} - (\delta - \Delta\delta)}, \text{ МПа}, \quad (5.64)$$

где:  $D_{нар}$  - наружный диаметр труб бетоновода в м, должно соблюдаться условие  $P_{доп} \geq P$ .

Бетоновод выбирают с учетом следующих положений: чем меньше диаметр бетоновода, тем выше напор, создаваемый при подаче смеси, тем ниже объемная подача бетононасоса, тем больше износ бетоноводов и меньше допускаемая крупность заполнителей (табл. 5.32(а)).

Звенья соединяют между собой с помощью быстроразъемных замков с натяжными клиньями и резиновыми уплотнителями. В комплект входят прямые звенья длиной от 0,3 до 3,0 м; колена и отводы с углами 90; 45; 22,5 и 11,25. У выходного торца бетоновода устанавливают гаситель и поворотный лоток. Если высота сбрасывания смеси превышает 3 м для предотвращения её раслаивания дополнительно ставят звеньевые хоботы.

Укладку бетонной смеси с помощью бетононасоса начинают в опалубке конструкций, наиболее удаленных от него. Забетонировав дальние конструкции, бетоновод укорачивают и переставляют для укладки бетонной смеси в ближайšie конструкции. Такую организацию работ называют бетонирование способом "на себя". Этот способ позволяет переналаживать бетоноводы почти без остановки бетононасоса или с очень короткими остановками.

**Таблица 5.32(а) – Основные характеристики бетоноводов**

Параметры	Диаметр, мм:					
	75	100	125	150	175	200
1	2	3	4	5	6	7
Сечение, см <sup>2</sup>	42	80	127	182	227	324
Наибольшая крупность заполнителя, мм						
при расходе цемента: более 300 кг/ м <sup>3</sup>	20	40	40	40	80	80
менее 300 кг/ м <sup>3</sup>	20	20	40	40	40	80
Длина бетоновода на 1 м <sup>3</sup> смеси, м	190	86	60	40	34	24
Масса бетонной смеси в секции бетоновода длиной 1 м, кг	30	55	90	130	165	240
Объемная подача м <sup>3</sup> /ч						

продолжение табл. 5.32(а)

1	2	3	4	5	6	7
при средней скорости укладки, м/с:0.3	4.5	9	14	20	25	35
0.6	8	18	28	40	50	71
0.9	14	27	41	60	74	-
1.2	18	36	55	80	-	-

Подать бетонную смесь по трубопроводу можно также с помощью пневмонагнетателей. Производительность их 10...20 м<sup>3</sup>/ч при дальности подачи до 200 м и высоте подачи до 35 м.

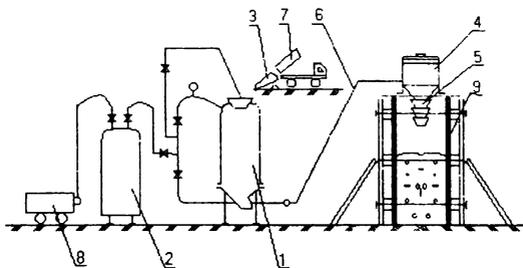
Пневмонагнетатель (рис.5.8; табл.5.33) состоит из сварного грушеобразного корпуса, в верхней части которого имеется загрузочный люк-воронка, закрываемый затвором. Для подачи сжатого воздуха в пневмонагнетатель предусмотрен подводящий трубопровод с верхним и нижним соплами. Внизу корпуса закреплена секция бетоновода.

В комплект пневмотранспортной установки помимо пневмонагнетателя входит набор звеньев бетоновода, гаситель, компрессор с ресивером и система трубопроводов для подачи сжатого воздуха. Бетонная смесь для подачи пневмонагнетателем должна иметь осадку конуса 6.....8 см, максимальную крупность заполнителя 40-60 мм. При рабочем давлении 0,25...0,3 МПа бетонная смесь транспортируется по трубопроводам в струе сжатого воздуха со скоростью 1,5-2,5 м/с. Расход сжатого воздуха зависит от дальности транспортирования и при подаче на расстояние 20 м он достигает 30-38 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Рациональная область применения таких установок – бетонирование малоармированных конструкций, обделок туннелей в стеснённых условиях подземного строительства, при бетонировании тонкостенных конструкций без опалубки.

**Таблица 5.33 – Техническая характеристика пневмонагнетателей.**

Показатели	Марка		
	СМЖ-136 СМЖ-141	6129	БПМ-1
Вместимость резервуара пневмонагнетателя, м <sup>3</sup> .	0,8	0,4	0,73
Подача м <sup>3</sup> /ч	20	10..12	20
Дальность подачи, м: по горизонтали	200	200	200
По вертикали	35	35	35
Наибольшее давление воздуха в напорной камере, Мпа	0,6	0,6	0,6
Внутренний диаметр бетоновода, мм	180	150	200
Диаметр загрузочного отверстия, мм	450	450	-
Наибольший размер заполнителя, мм	60	40	-
Вместимость ресивера, м <sup>3</sup> .	4	2	4,5
Габаритные размеры нагнетателя, мм:			
Длина	1890	2120	-
Ширина	2453	2453	-
Высота	2430	2175	-
Габаритные размеры ресивера, мм			
Ширина	1224	1020	-
Высота	3930	2905	-
Масса, кг. нагнетателя	1344	1185	-
Ресивера	1150	702	11750
Гасителя	585	585	-



**Рис 5.8. Бетонирование с помощью пневмонагнетателя.**

1 – пневмонагнетатель, 2 – ресивер, 3 – вибропитатель, 4 – гаситель, 5 – хобот, 6 – бетоновод, 7 – автобетоновоз, 8 – компрессор, 9 – опалубка.

### **5.6.5. Укладка бетонной смеси ленточными конвейерами**

Ленточными конвейерами целесообразно укладывать бетонную смесь при бетонировании массивных конструкций, при большой площади распределения бетонной смеси, линейно-протяженных сооружений и в стесненных условиях. Дальность подачи бетонной смеси 20-250 м, производительность- до 90 м<sup>3</sup>/ч.

В гидротехническом строительстве транспортеры применяют для подачи смеси непосредственно от бетономесительной установки непрерывного действия к месту укладки при общей длине магистрального транспортера до 1500 м. Такие транспортеры собирают из отдельных типовых секций, устанавливаемых на инвентарные эстакады. Они могут располагаться и в закрытых галереях или под навесами.

В промышленном строительстве транспортеры используют как внутри-построечный транспорт. В этом случае смесь, доставляемую на объект бетоновозами, разгружают в вибробункер, а из него, через вибропитатель, смесь попадает на магистральный транспортер, смонтированный на эстакаде. По барабанному сбрасывателю смесь подается на распределительные транспортеры, установленные под углом к магистральному. Далее по лоткам или звеньевым хоботам смесь попадает к месту укладки.

Максимальный угол наклона транспортера принимают в зависимости от подвижности бетонной смеси. Для смесей с осадкой конуса до 4 см — угол подъема не должен превышать 18°, угол спуска - 12°, а при осадке конуса до 6 см - соответственно 15° и 10°. Угол подъема можно увеличить до 30-40° при устройстве на ленте поперечных резиновых шпор.

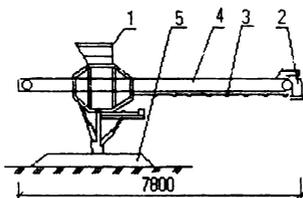
Унифицированные элементы-секции ленточных конвейеров (рис.3.9) с вылетом стрелы от 9 до 25 м, могут иметь автономный привод. Электроприводы всех секций связываются общим пультом управления и взаимно увязаны. Например, конструкция секционного конвейера для транспортировки бетонной смеси, разработанная ЦНИИОМТП, представляет собой ленточный конвейер, стрела которого может поворачиваться вокруг оси в вертикальной и горизонтальной плоскостях и совершать возвратно-поступательные (челночные) движения, благодаря чему обеспечиваются подача и распределение бетонной смеси в зоне, ограниченной радиусами, равными максимальному и минимальному вылетам стрелы.

Наиболее часто используется конвейер, состоящий из шести секций с вылетом стрелы 6...12 м каждая. При большей дальности подачи увеличивают число секций или применяют секции с большим вылетом стрелы (до 25 м),

Техническая характеристика секции переставного конвейера конструкции ЦНИИОМТП.

Производительность, м <sup>3</sup> /ч.....	25
Длина между центрами барабанов, конвейеров, м.....	7
Вылет стрелы, м.....	6
Конвейерная лента.....	облегченная (ТУ 38105-219-71)
Ширина ленты, мм.....	400
Скорость движения ленты, м/с.....	1
Мощность привода конвейера, кВт.....	1,1
Напряжение, В.....	220/380
Угол наклона стрелы, град.....	±18
Механизм наклона конвейера.....	винтовой ручной
Угол ручного поворота конвейера в горизонтальной плоскости, град.....	360
Масса, кг.....	500

Стрела секции выполнена из дюралевых швеллеров и может складываться для уменьшения габаритов в транспортном положении.



**Рис. 5.9. – Секция ленточного конвейера.**

1- воронка, 2 - отражатель, 3 - ролики, 4 - стрела с ленточным конвейером, 5 - основание.

Недостатком как вибрационных, так и ленточных конвейеров является необходимость их перестановки по мере бетонирования захваток внутри объекта.

В настоящее время в гражданском и промышленном строительстве используются самоходные стреловые бетоноукладчики универсального назначения для бетонирования разнообразных конструкций подземной части зданий, расположенных в траншеях и котлованах, а также на уровне земли. Эти бетоноукладчики имеют гусеничный или пневмоколесный ход, позволяющий перемещаться в котлованах или вдоль бровки при отсутствии дорог.

Созданы различные конструкции бетоноукладчиков. Так, ленточный конвейер бетоноукладчика УБК-132, созданный в тресте "Харьковстрой-механизация", установлен на базе трактора ДТ-75 с удлиненной рамой и двумя дополнительными балансирными тележками, бетонная смесь выгружается из бетоновоза в скиповый подъемник, которым она перегружается в промежуточный вибробункер, а из последнего - на ленточный конвейер, подающий бетонную смесь в опалубку конструкции.

**Таблица 5.34 – Техническая характеристика бетоноукладчиков.**

Показатель	ЛБУ-20	УБК-132
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	20	11
Вылет стрелы конвейера, м	3...20	11
Угол поворота стрелы, град	380	100
Угол подъема стрелы, град	до 60	до 20
Площадь охвата с одной стоянки, м <sup>2</sup>	1500	12
Высота подачи смеси от основания машины, м	до 8	5,5
Вместимость приемного бункера, м <sup>3</sup>	3,2	1,6
Габариты, мм:		
длина (при максимальном вылете стрелы)	25100	18900
высота (приемный бункер опущен)	3950	4700
ширина (при вынесенных опорах)	2900	2440
Масса, кг	14000	13000
Число обслуживающих рабочих	5	2
Организация-калькосодержатель	ЦНИИ-ОМТП	Трест "Харьковстроймеханизация"

Бетоноукладчик ЛБУ-20 конструкции ЦНИИОМТП имеет телескопический ленточный конвейер, состоящий из стационарного и выдвигного конвейера. Такая конструкция конвейера, смонтированного на поворотной платформе экскаватора Э-303 или ОМ-202, позволяет с одной стоянки подавать бетонную смесь в любую точку бетонлируемой конструкции, ограниченной радиусами максимальной и минимальной подачи.

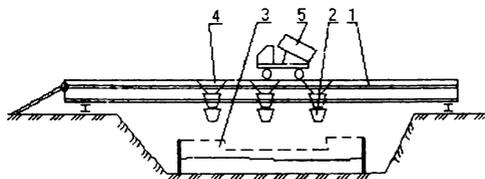
Как показали исследования ЦНИИОМТП, бетоноукладчики экономически целесообразно использовать при сменной укладке бетонной смеси более 20...25 м<sup>3</sup>. При меньших объемах работ более целесообразно использовать самоходные краны.

#### **5.6.6. Укладка бетонной смеси автотранспортом с эстакады**

Укладка бетонной смеси автотранспортом с эстакады целесообразно применять при бетонировании массивных фундаментов объемом более 1000 м, например, фундаментов под доменные печи, а также протяженных массивных сооружений (днища шлюзов и т.п.).

Эстакады, как правило, опирают на металлические или заранее заготовленные железобетонные стойки, имеющие высоту, равную высоте массива, и оставляют их в теле бетона.

При пролете менее 20 м целесообразно применение передвижных эстакад балочного типа (рис.3.10). Бетонная смесь из автотранспортных средств выгружается в приемные воронки бункеров или в направляющие лотки и через хоботы - в бетонлируемую конструкцию.



**Рис.5.10. – Схема укладки бетонной смеси с передвижного моста.**

- 1 - передвижной мост, 2 - хобот, 3 - бетонлируемая конструкция,  
4 - приемный бункер, 5 - автобетоновоз.

## **5.7. Бетонирование конструкций и сооружений.**

### **5.7.1. Общие положения**

Бетонирование конструкций является основным технологическим процессом, который определяет темп выполнения других процессов и операций. Все рабочие операции, входящие в технологический процесс бетонирования, делятся на три группы: подготовительные, основные и вспомогательные. К подготовительным операциям относятся операции, связанные с подготовкой объекта к приему и укладке бетонной смеси, в подготовке механизмов и инструментов и т.п. Необходимо подготовить подъездные пути, настилы, эстакады, места приема бетонной смеси. Тщательно проверяется положение опалубки, арматуры, закладных частей, анкерных болтов в соответствии с проектом, с оформлением исполнительной схемы этих элементов и актов на скрытые работы. При бетонировании конструкций на грунтовом основании проверяется его качество, соответствие требованиям проекта, чтобы предотвратить возможные деформации при передаче на него нагрузку.

Одновременно с подготовкой объекта и блока бетонирования приводят в готовность механизмы (краны, бетононасосы, бетоноукладчики и т.п.).

К основным операциям относятся прием, распределение и уплотнение бетонной смеси, их необходимо выполнять в непрерывной технологической последовательности для обеспечения качества бетона.

За выполнением этих операций ведется постоянный контроль со стороны технического персонала строительной организации, на объекте ведется журнал бетонных работ по установленной форме. Бетоносмесительный завод на каждую партию бетонной смеси, доставленной на объект, должен выдать паспорт, в котором указываются основные характеристики смеси (марка, вид цемента, крупность заполнителя, консистенция и т.д.)

Вспомогательные операции, сопутствующие бетонированию, заключаются в установке, закреплении и перемещении транспортных устройств и приспособлений: вибропитателей, виброжелобов, хоботов и т.п.

### **5.7.2. Конструктивные и технологические швы.**

Возводимые бетонные и железобетонные конструкции бетонируются, как правило, отдельными сопрягаемыми между собой участками. Разбивка конструкций на блоки (или карты) бетонирования проводится как по конструктивным, так и по технологическим соображениям. Конструктивная разбивка призвана обеспечить направленную деформацию отдельных участков конструкций и сооружений, а технологическая - неизбежные перерывы в работе, общую организацию работ, возможности используемых механизмов и пр.

Деформационные швы подразделяются на осадочные, температурные и усадочные. Осадочными швами разделяют элементы сооружений, воспринимающих различные по величине и характеру приложения нагрузки там, где неразрезность конструкции не предусмотрена проектом. Так, осадочные швы отдалают колонны и фундаменты под оборудование от примыкающих к ним полов. Осадочные швы могут быть образованы обмозкой зоны примыкания конструкций битумом, установкой в зоне стыка деревянной раз делительной прокладки и т.п. Ширина осадочного шва должна быть минимальной (до 7... 10 мм).

Температурные швы обеспечивают возможность сжатия и расширения отдельных зон сооружения при охлаждении и нагреве без коробления и трещинообразования (дороги, аэродромы, каналы, подпорные стены и т.п.) Температурные швы устраивают также в массивных конструкциях (плотины, крупные фундаменты); подверженных экзотермическому разогреву при твердении бетона. Расстояние между температурными швами принимается по расчету.

Шов расширения предусматривает заполнение его легко- деформируемым материалом, предотвращающим проникновение в шов влаги: тиokolовыми, изобутиленовыми герметиками, резинобитумными и битумно-полимерными мастиками. При устройстве швов в дорожно-аэродромных покрытиях для предотвращения перемещения прилегающих участков относительно друг друга устанавливаются металлические штыри. Температурные швы сжатия в дорожно-аэродромных покрытиях устанавливаются через 5 – 10 м.

Усадочные швы необходимо предусматривать в протяженных и в массивных конструкциях для предотвращения неупорядоченного трещинообразования при усадке твердеющего батона. Усадочные швы в тонких монолитных стенах следует выполнять не реже, чем через 5-6 м по длине, в бетонных полах - через 6-12 м.

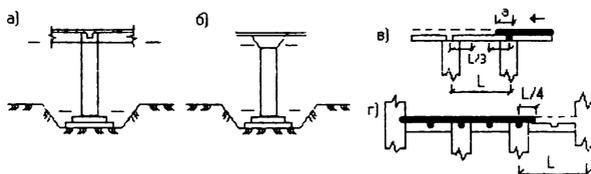
При укладке бетона на ранее уложенный и затвердевший бетон образуется так называемый "рабочий " шов. Рабочие швы являются сугубо технологическими; их устройство вызвано неизбежными остановками в бетонировании из-за всевозможных организационных (окончание рабочей смены, поломка оборудования, нехватка материалов и т.п.) а также технологических причин (необходимость монтажа вышележащей арматуры, перемонтаж лесов и опалубки, ограничение нагрузок на поддерживающие конструкции и т.п.).

В отличие от деформационных швов в рабочем шве должны быть исключены перемещения стыкуемых поверхностей относительно друг друга.

Максимально допустимое время перерыва в бетонировании конструкций соответствующее началу формирования кристаллизационной структуры, определяется возможностью "старого" бетона разжижаться при вибрации. Когда при погружении в него вибратора образуются незаплывающие трещины, необходимо устраивать рабочий шов.

При перерывах больше установленного времени дальнейшая укладка смеси может проводиться только после набора ранее уложенным бетоном прочности не менее 1,5 МПа. В противном случае его структура может быть нарушена.

При возобновлении бетонирования после перерыва во всех случаях необходимо очистить поверхность ранее уложенного бетона от пыли, грязи, масла и строительного мусора. Для предотвращения обезвоживания укладываемой смеси бетонное основание следует увлажнить. При средней и низкой подвижности укладываемой бетонной смеси бетонное основание рекомендуется покрыть слоем цементно-песчаного раствора толщиной-1,5...3 см для заполнения всех неровностей на поверхности основания. Для повышения прочности сцепления рекомендуется удалить карбонатную пленку на поверхности старого бетона, покрывать её клеящими составами с повышенной адгезионной способностью. При использовании полимерных клеев можно добиться прочности стыка существенно большей, чем прочность стыкуемых бетонов.



**Рисунок 5.11 – Расположение рабочих швов.**

При бетонировании колонн: а - поддерживающих ребристое перекрытие; б - при бетонировании безбалочных перекрытий.

При бетонировании ребристых перекрытий: в - в направлении параллельном второстепенным балкам г – в направлении, параллельном главным балкам.

Рабочие швы необходимо располагать в строго определенных сечениях бетонизируемой конструкции, где они будут наименее нагруженными или там, где действующие на шов нагрузки не вызовут недопустимого раскрытия трещин (рис. 5.11).

### 5.7.3. Уплотнение бетонной смеси

Бетонная смесь в рыхлом неуплотненном состоянии содержит большое количество воздуха (10-45%). Задачей уплотнения является удаление этого воздуха для получения плотной структуры бетона ( $2,4...2,5\text{т/м}^3$ ).

Бетонную смесь, укладываемую в монолитные конструкции, уплотняют штыкованием, трамбованием, вибрированием и вакуумированием.

Штыкование смеси ведут вручную с помощью штыковок. Применяется в исключительных случаях для уплотнения высокоподвижных и литых бетонных смесей в тонкостенных и густоармированных конструкциях.

Трамбование может быть применимо при уплотнении жестких бетонных смесей в малоармированных конструкциях в тех случаях, когда при менять вибраторы невозможно из-за отрицательного воздействия вибрации на расположенное вблизи сооружение. Трамбование бетонной смеси может быть выполнено ручными и пневматическими трамбовками.

Основным способом уплотнения бетонных смесей является вибрирование, поскольку оно является наилучшим из известных способов приложения к бетонной смеси градиента скорости сдвига. Под действием градиента скорости вязкость смеси снижается на несколько порядков.

Уложенная в опалубку рыхлая бетонная смесь находится до приложения вибрации в состоянии, когда силы тяжести уравновешены силами внутреннего трения в смеси и силами трения смеси об опалубку, арматуру и пр. Вибрация, резко снижая внутреннее трение и трение смеси о препятствия, нарушает сложившееся равновесие. Смесь начинает течь, заполняя форму, как тяжелая жидкость. Одновременно с этим падение вязкости растворной части смеси позволяет заземленным пузырькам воздуха всплывать на поверхность. Однако из-за понижения взвешивающей способности, в смеси при длительной вибрации в ней происходит оседание наиболее тяжелых частиц - крупного заполнителя.

Эффективность уплотнения зависит от основных параметров вибрации - её частоты и возникающей в бетонной смеси амплитуды колебаний.

Исследованиями установлен, что эффективность вибрирования повышается за счет достижения резонанса при подборе частот вынужденных колебаний равных частотам собственных колебаний отдельных фракций заполнителя бетонной смеси; этом, чем мельче заполнитель, тем больше эффективность высокочастотной вибрации.

Выпускаемые нашей промышленностью вибраторы по вибрационным характеристикам подразделяются на низкочастотные с числом колебаний до 3500 в минуту и амплитудой до 3 мм; среднечастотные, имеющие 3500-9000 кол/мин и амплитуду 1-1,5 мм; высокочастотные с частотой 10000-20000 кол/мин. и амплитудой - 0,1-1 мм.

Низкочастотные вибраторы наиболее эффективны для уплотнения бетонных смесей с крупностью заполнителя 40...70 мм и более, средне-частотные - при крупности 10...40 мм, высокочастотные - при крупности до 10 мм. По способу воздействия на бетонную смесь вибраторы подразделяют на внутренние (глубинные), поверхностные и наружные.

Внутреннее вибрирование осуществляется погружением в бетонную смесь рабочего органа глубинного вибратора. Внутреннее вибрирование энергетически наиболее выгодно, так как возбудитель колебаний передает всю энергию непосредственно уплотняемой смеси с минимальными потерями. Технологически, однако, внутреннее вибрирование бетонной смеси является весьма трудоемким, так как затрачивается ручной труд на извлечение из бетонной смеси и перестановку вибраторов по последовательным позициям виброуплотнения, расстояние между которыми определяется радиусом действия вибратора.

Для глубинного вибратора с цилиндрическим корпусом радиусом действия принимают расстояние от его центра до концентрической окружности, являющейся границей между уплотняющейся и неуплотняющейся зоной. Уплотняемая зона отличается энергичным оседанием смеси, выделением пузырьков воздуха, появлением на поверхности уплотняемого слоя и около опалубки растворной части смеси.

Толщина слоя, укладываемая ручным глубинным вибратором, не должна превышать 1,25 длины рабочей части вибратора. Шаг перестановки ручного глубинного вибратора не должен превышать полуторного радиуса его действия. Оптимальная продолжительность работы вибратора на каждой позиции обычно находится в пределах 20-40с. Техническая характеристика глубинных вибраторов приведена в табл.3.34.

Созданы новые типы вибраторов. Рабочим органом в них служат вертикальные плоские плиты, соединенные с двумя виброуплотнителями, вращающимися в противоположные стороны. Образуются направленные колебания уплотнителей перпендикулярно плоскостям плит за счет самосинхронизации виброуплотнителей. Возникающие при работе виброуплотнителей плоские волны затухают менее интенсивно, чем цилиндрические, появляющиеся при работе обычных глубинных вибраторов. За счет этого эффекта плоскостные глубинные виброуплотнители более эффективны по сравнению с глубинными вибраторами; радиус их действия в 2...5 раз больше, чем обеспечивается их высокая производительность.

При уплотнении бетонных смесей, укладываемых в плоские или лоткового типа горизонтальные тонкостенные неармированные или малоармированные конструкции (аздромные и дорожные покрытия, плиты перекрытий, подготовки под полы и т.п.), применяют виброрейки и поверхностные площадочные вибраторы.

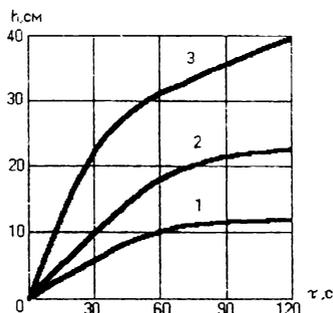
Поверхностное вибрирование организуют двумя способами: при опирании виброуплотнителя непосредственно на уплотняемую смесь и при опирании виброуплотнителя на ограждающую бортовую оснастку или на маячные доски, ограничивающие бетонлируемые полосы бетонлируемой конструкции.

Глубина проработки смеси зависит от её удобоукладываемости (Рис.5.12) и параметров вибрации. Для сравнительно легких, управляемых вручную виброреек, максимальная глубина прорабатываемого слоя обычно не превышает 20 см. Мощные навесные виброрусь способны уплотнять слои высотой до 30 см, а также бетонные покрытия с двойной арматурой.

Исследованиями установлено, что поверхностное уплотнение практически для всей гаммы возможных составов бетонной смеси наиболее эффективно при определенном соотношении между давлением на бетон виброуплотнителя  $Q$  и амплитудой возмущающей силы вибратора  $P$  ( $Q/P=0.4...0.6$ ). При значениях  $Q/P < 0,3$  колебания носят неустановившийся характер, а с увеличением  $Q/P > 0,6$  амплитуды начинают затухать. Для жестких смесей колебания практически полностью затухают при  $Q/P=1$ .

**Таблица 5.35 – Техническая характеристика глубинных вибраторов.**

Показатели	Значения показателей для вибраторов										
	С гибким валом					Со встроенным электродвигателем					
	ИВ-47А	ИВ-94	ИВ-66	ИВ-67	ИВ-75	ИВ-56	ИВ-59	ИВ-60	ИВ-78	ИВ-79	ИВ-80
Номинальная мощность, кВт	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	1,1	0,27	0,8	1,5
Номинальное напряжение, В	36	42	36	35	36	36	36	36	36	36	36
Номинальный ток, А	28	20	20	20	20	26	25	45	10	26	36
Частота колебаний, Гц	170	170	330	270	330	180	95	95	180	180	180
Возмущающая сила, Н	4000	6000	1500	3000	800	5500	5000	8000	2500	5500	10000
Габариты, мм:											
Общая длина	3750		4010	4010	3285	1270	1235	1300	1270	1270	1270
Середина сердечника	445	-	395	415	410	500	410	470	410	500	520
Диаметр	75	75	38	51	28	75	114	133	50	75	100
Масса, кг	62	-	37	43	26	15	22	30	9	15	22



**Рисунок 5.12 – Влияние продолжительности вибрирования смеси ( $\tau$ ) поверхностным вибратором на глубину её уплотнения ( $h$ ) при осадке конуса бетонной смеси 3...5 (1); 0...3 (2) и 0 см (3).**

Наружные вибраторы жестко крепят к опалубке, поэтому опалубка, к которой крепят такие вибраторы, должна быть более жесткой и прочной. Такой способ уплотнения оказывается более удобным по сравнению с другими способами, например при омоноличивании стыков сборных железобетонных колонн, при бетонировании стальных сердечников колонн и при бетонировании других высоких конструкций с большим пролетом армирования.

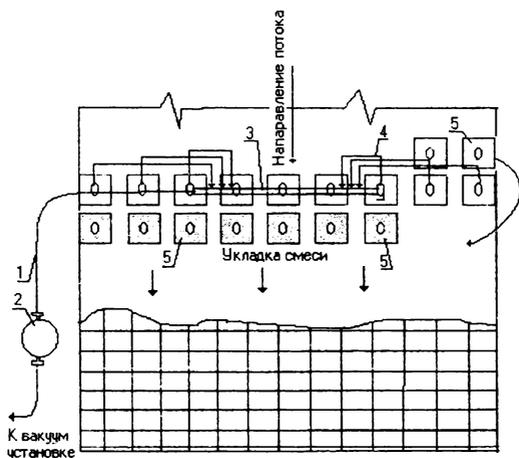
Наружные вибраторы устанавливают по мере укладки бетона по высоте и крепят их к элементам жесткости опалубки. Продолжительность работы наружного вибратора на одной стоянке 50...90 с.

#### 5.7.4. Вакуумирование бетона

Вакуумирование - технологический прием, позволяющий извлечь часть воды и воздуха из уложенного бетона. Использование такого приема открывает возможность применять бетонные смеси с повышенной подвижностью, что упрощает и удешевляет их распределение и уплотнение, достигая при этом существенного улучшения физико-механических свойств затвердевшего бетона, соответствующих пониженному остаточному водоцементному отношению. При отсосе воды и воздуха частицы смеси сближаются, снижая её пористость и усадку. Так, прочность вакуумированного бетона повышается на 15...20% по сравнению с вибрированным бетоном. Применительно к дорожному строительству чрезвычайно важным является увеличение на 30...50% сопротивления вакуумированного бетона истиранию и снижение на 30...40% его усадки. Повышение плотности вакуумированного бетона (до 2%) в 2-3 раза сокращается капиллярный подсос и увеличивает химическую стойкость, водонепроницаемость и морозостойкость. Вакуумированный бетон имеет и высокую начальную прочность (0,3-0,5 МПа), что позволяет во многих случаях проводить его немедленную распалубку.

Вакуумирование применяют для уплотнения бетона в тонких конструкциях, имеющих большую развернутую поверхность (дорожное покрытие, полы, сваи, оболочки и т.п., рис. 5.13). Наибольшая толщина слоя бетона, прорабатываемая вакуумированием, 30 см.

Вакуумирование смеси осуществляется несколькими способами: с помощью опалубочных вакуум-щитов (при бетонировании тонких вертикальных или наклонных стенок); переносными вакуумкоробами, которые устанавливаются сверху на уложенный бетон; при помощи вакуумтрубок, устанавливаемых внутрь бетонной конструкции и при помощи гибких вакуумных матов. Жесткие вакуум-щиты или гибкие вакуум-маты прилегают к поверхности бетона и герметизируются по периметру. Между поверхностью бетона и вакуум-покрытием образуется замкнутая полость, из которой отсасывается воздух и вода. Уровень разряжения составляет 80-95%. В вакуумных элементах непосредственно к бетону прилегает фильтрующая ткань, предотвращающая вынос вместе с отсасываемой водой частиц цемента и мелких фракций песка. Поверх этой ткани расположена гибкая распределительная сетка, назначение которой - обеспечить зазор между фильтром и верхним накрывочным слоем, из-под ко-



**Рисунок 5.13 – Схема вакуумирования железобетонной плиты.**

1 - магистральная всасывающая линия; 2 - водосборник; 3 - коллектор;  
4 – всасывающие шланги; 5 – переносные вакуум-щиты.

торого про изводится откачка воздуха.

Герметизированная коробка верхнего покрытия вакуум-щита выполняется из стали, водостойкой фанеры или стеклопластика. Переносные вакуум-щиты обычно делают площадью до 5-8 м<sup>2</sup>, но не более 10-15 м<sup>2</sup>, обеспечивая транспортные габариты и массу для установки вручную.

Гибкие вакуум-маты включают два самостоятельных элемента. Нижний элемент, укладываемый на бетон, состоит из фильтрующей ткани, прошитой вместе с распределительной сеткой. Фильтрующие элементы раскладывают по поверхности бетона с перекрытием отдельных полотнищ на 2-3 см.

Верхний элемент - герметизирующий. Он выполняется из плотной газонепроницаемой синтетической ткани (нейлон или капрон) и раскатывается из рулона поверх ранее разосланных на свежееуложенный бетон фильтрующих элементов с перекрытием последних по периметру не менее, чем на 10 см. Это обеспечивает достаточный контакт полотна со свежееуложенным бетоном, предотвращая подсос воздуха при вакуумировании.

В комплект оборудования для вакуумирования входят вакуум-насос, ресивер, всасывающие шланги и набор вакуум-щитов или вакуум-матов (рис. 5.13).

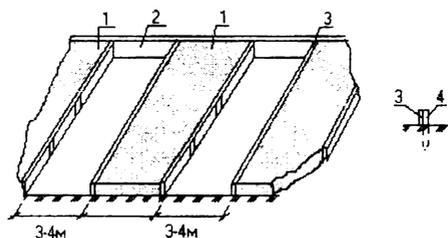
Продолжительность вакуумирования слоев толщиной до 10 см – 45 с/см толщиной 10-20 см - до 1 мин/см и более 20 см - 2 мин/см. Максимальный разрыв между окончанием укладки бетона и началом его вакуумирования не должен превышать 1,5 ч для бетонов на цементах с большими сроками схватывания. Во всех случаях вакуумирование должно быть закончено до начала схватывания бетона.

### 5.7.5. Бетонирование бетонных подготовок, полов и фундаментных плит

Укладку бетонной смеси при устройстве бетонных покрытий производят на предварительно уплотненный песчаный, гравийный или щебеночный подстилающий слой. Для устройства бетонных покрытий применяют бетонную смесь с осадкой конуса 0...2 см.

Площадь, на которой выполняется покрытие, разбивают на карты-полосы шириной 3...4 м с устройством по их краям маячных ограждений, выполняемых в зависимости от толщины бетонируемых плит из досок, инвентарных опалубочных щитов или рельс-форм (рис. 5.14). Отметки маячных ограждений полос устанавливают нивелиром по проектной отметке поверхности бетонной подготовки.

Полосы бетонируют через одну, начиная от наиболее удаленной от проезда части с постепенным приближением к нему. Промежуточные полосы бетонируют после затвердения бетона в смежных полосах. Перед бетонированием промежуточных полос снимают маячные доски и для образования деформационных швов боковые грани обмазывают горячим битумом марки БН-111 слоем 1,5-2 мм.



**Рис. 5.14 – Бетонирование подготовок и полов**  
 1 - карта, 2, - поперечная доска, 3 - направляющая доска,  
 4 - колья, штыри через 1...1,5м.

Усадочные швы образуют заглаблением в свежееуложенный бетон металлической полосы толщиной 4-6 мм, на глубину одной трети толщины бетонной подготовки с последующим заполнением после затвердения бетона горячим битумом или цементным раствором.

Бетонную смесь, подвозимую автобетоновозами, автобетоносмесителями или автосамосвалами задним ходом распределяют по площади полос и разравнивают: при больших объемах работ - бетоноукладочными машинами (дорожными или специальными), в остальных случаях - используя средства малой механизации. Для этой цели, например, используют разравниватель бетонной смеси на базе экскаватора Э-153, К стреле экскаватора подвешивают фигурную деталь с направляющей балкой. Внутри рамки: размещен двухчелюстной (закрываемый и открываемый гидроцилиндром) ковш, который предварительно распределяет бетонную смесь по подстилающему слою.

#### Техническая характеристика разравнивателя бетонной смеси на базе экскаватора Э-153.

Производительность, м <sup>3</sup> /ч.....	15
Фронт работы, м: в длину .....	3,2
в ширину.....	4
Размер разравнивающей рамы, мм .....	1600x1200
Рабочий ход рамы, мм .....	600
Угол поворота стрелы в горизонтальном положении плоскости, град .....	60
Вместимость ковша, л.....	70
Масса навесного оборудования, кг.....	780

Бетонную смесь уплотняют электровиброрейками, передвигаемыми по маячным доскам, а в небольших помещениях (до 100 м<sup>2</sup>) – поверхностными вибраторами.

#### Техническая характеристика виброрейки 3М.

Производительность, м <sup>2</sup> /ч.....	130
Ширина уплотняемой полосы, м .....	3
Толщина уплотняемого слоя, см .....	15
Давление на бетонную смесь, кПа .....	3,2
Габарит, мм.....	3150x640x450
Масса, кг .....	90

Виброрейка 3М представляет собой два параллельно установленных бруса, скрепленных между собой четырьмя струбцинами. В центре виброрейки жестко закреплен электромеханический вибратор. Виброрейку обслуживают два человека, передвигающих её за виброзащитные ручки с пультом управления.

Бетонировать чистые полы по бетонной подготовке необходимо с минимальным перерывом (не более 2 ч), если же бетон подготовки схватился (более 1,5 МПа), перед бетонированием пола его увлажняют.

Свежеуложенный бетон пола тщательно заглаживают с помощью ручного инструмента или специальной затирочной машины. Окончательно поверхность бетонного пола отделывают гладильной доской или брезентовой лентой шириной 300-400 мм и длиной на 1-1,5 метра больше ширины бетонируемой полосы.

Для повышения прочности пола на истирание, плотности и гигиеничности в поверхность свежеуложенного влажного бетона тщательно втирают сухой цемент (марки 500) до появления матового блеска.

Фундаментные плиты, днища резервуаров и т.п. имеют, как правило, больше площади, густое армирование и толщину от 0,15 до 1,5 м. Если толщина плит менее 0,5 м, разбивку их на полосы-карты выполняют так же, как бетонных подготовок. При большей толщине плиты разбивают на параллельные карты шириной 5 - 10 м, оставляя между ними разделительные полосы шириной 1,0-1,5м, которые бетонируют после затвердения бетона в картах. Бетонную смесь уплотняют глубинными вибраторами, а поверхность бетона выравнивают по маячным ограждениям карт и заглаживают затирочной дисковой или лопастной машиной.

Технические характеристики дисковых затирочных машин.

СО-103 СКБ Мосстроя

Производительность, м <sup>2</sup> /ч.....	40	50
Диаметр затирочного диска, мм .....	600	600
Частота вращения диска, мин-1 .....	110	270
Мощность электродвигателя, кВт.....	1,5	2,2
Габаритные размеры, мм: длина .....	1500	
ширина .....	1100	
высота .....	1000	
Масса, кг .....	110	110

Технические характеристики лопастных затирочных машин.

СО-135 ОМ-700

Производительность, м <sup>2</sup> /ч .....	100 до 150
Ширина обрабатываемой полосы, мм .....	800
Частота вращения рабочего органа, мин-1	90 100...120
Мощность электродвигателя, кВт .....	1,1 1,1
Напряжение, В .....	220/380 220/380
Ресурс лопастей, м <sup>2</sup> .....	1500
Габаритные размеры, мм: длина .....	1785
Ширина.....	755
Высота.....	930
Масса, кг .....	55 51

**5.7.6. Бетонирование фундаментов и массивов**

В малоармированные фундаменты и массивы укладывают бетонную смесь с осадкой конуса 1...3 см и крупностью заполнителя до 70 мм, в густо армированные - с осадкой конуса 3...6 см и крупностью, не превышающей 1/3 расстояния между арматурными стержнями. В массивные фундаменты укладывают бетон на цементе с низкой экзотермией, чтобы уменьшить его температурные деформации.

Массивные сооружения, как правило, бетонуются блоками, с этой целью сооружение поперечными и продольными швами расчленяется по высоте на ярусы, а ярусы на блоки. Размеры блоков принимаются в зависимости от конструктивных соображений и от производственных факторов: сроков схватывания цемента, производительности бетоноукладочных механизмов, конструкции опалубки и т.д.

При бетонировании массивов и фундаментов бетонная смесь, в зависимости от типа конструкций и объема сменной укладки, подается в конструкцию:

- автобетоновозами, автобетоносмесителями и автосамосвалами с эстакад (мостов) или непосредственно в конструкцию;
- стреловыми кранами в бадьях, работающими со дна или бровки котлована;
- переставными ленточными или вибрационными конвейерами;
- самоходными ленточными бетоноукладчиками;
- бетононасосами и автобетононасосами.

Как правило, массивные конструкции бетонуются послойно. Толщина слоев определяется мощностью применяемых вибраторов, площадью бетонированного блока, параметрами твердения бетона и интенсивностью бетонирования и определяется по формуле:

$$h = V_{и} * t / A, м, \quad (5.64)$$

где:  $V_{и}$  - интенсивность бетонирования,  $м^3/ч$ ;

$t$  - максимально возможное время до перекрытия ранее уложенного слоя бетонной смеси, ч,  $t = t_1 - t_2$

$t_1$  - время между затворением и началом схватывания цемента, ч;

$t_2$  - продолжительность транспортирования и укладки первой порции бетонной смеси, ч;

$A$  - площадь бетонированной конструкции,  $м^2$

Принятая толщина не должна превышать 1,25 длины рабочей части внутреннего вибратора. При ручных вибраторах толщина слоев бетонирования принимается равной 0,3-0,5 м, а при механизированном уплотнении мощными вибраторами - 0,75.. 1,0 м.

Обычная схема бетонирования, как правило, предусматривает горизонтальные слои по всей площади бетонированной конструкции (блока). Для крупных блоков допускается ступенчатый метод укладки смеси с высотой слоя, соответствующей принятым типам вибраторов. Упростить задачу перекрытия слоев до начала схватывания предыдущего позволяет метод укладки смеси наклонными слоями. Для предотвращения оползания бетонной смеси при виброуплотнении наклон слоев принимают около 10-12°.

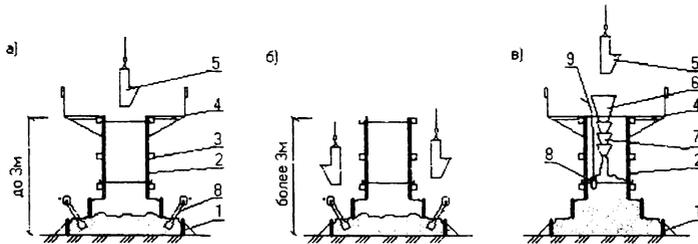
При бетонировании крупных массивов, в частности, гидротехнических сооружений для распределения смеси в блоке и её уплотнения в настоящее время применяются малогабаритные тракторы, оснащенные отвалом для перемещения смеси, и пакетом мощных навесных вибраторов. На тракторах используются арочные шины низкого давления.

В фундаментах под колонны зданий объемом до 15  $м^3$  бетонную смесь подают по виброжелобам, бетоноукладчиками, транспортерами и в бадьях кранами.

Ступенчатые фундамента общей высотой до 3 м и площадью нижней ступени до 6  $м^2$  смесь подают через верхний урез опалубки (рис. 5.15 а).

При высоте фундаментов более 3 м и площади нижней ступени более 6 м<sup>2</sup> первые порции смеси подают в нижнюю ступень по периметру (рис. 5.15.б), далее - через приемный бункер и звеньевые хоботы (рис. 5.15.в).

Бетонировать высокие пилоны при осадке конуса смеси 4...6 см, нужно медленно и даже с некоторыми перерывами (1-1,5 ч), чтобы исключить выдавливание бетона, уложенного в ступени через их верхние открытые грани.



- а) - высотой до 3 м; б,в) - высотой более 3 м; 1 - опалубка ступени; 2 - опалубка пилон; 3 - схватки; 4 - настил; 5 - бадья; 6 - приемная воронка; 7 - звеньевой хобот; 8 - внутренний вибратор; 9 - верёвка

**Рисунок 5.15 – Бетонирование столбчатых фундаментов**

С целью снижения расхода цемента малоармированные и неармированные крупные массивы целесообразно возводить из камнебетона. Для этого в слой бетонной смеси с осадкой конуса 4-6 см и толщиной 0,3-0,5 м с помощью вибратора погружают камни крупностью 120-300 мм. При этом образуется слой камнебетона толщиной 60-70 см, в котором 30-40% занимает камень.

### 5.7.7. Бетонирование стен и перегородок

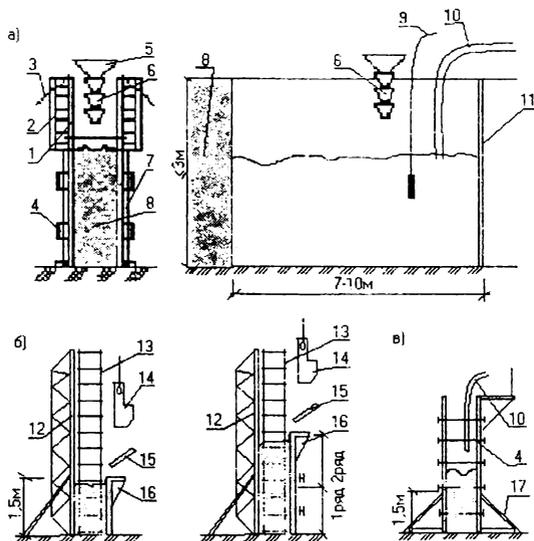
При бетонировании высоких конструкций при сравнительно небольшой их толщине типа стен и перегородок необходимо учитывать значительную осадку свежеложенного бетона. Учитывая это нормируется предельная высота непрерывного бетонирования: для стен и перегородок толщиной до 0,15 м - не более 2 м, толщиной более 0,15 и - 3 м. При большей высоте этих конструкций необходимо устраивать перерывы для осадки смеси на 1-2 ч.

Опалубка при толщине стен до 0,15 м возводится с одной стороны на всю высоту конструкции, а с другой - попарно (1,5-2,0 м), (Рис.5.16).

Бетонная смесь при бетонировании стен толщиной более 0,5 м принимается с осадкой конуса 4...6 см и крупностью заполнителя до 70 мм. В тонкие густоармированные стены (перегородки) укладывают бетонную смесь с осадкой конуса 6...10 см и крупностью заполнителя до 20 мм.

При длине стен и перегородок более 15 м их делят на участки по 7-10 м, с тем, чтобы за смену можно было забетонировать без перерыва целое число участков. Для ограничения бетонируемых участков используют деревянную разделительную опалубку без разрезки арматуры и сетчатую опалубку, которая остается в бетоне.

Укладка бетонной смеси в опалубку стен резервуаров и сооружений для хранения жидкостей должна производиться непрерывно по периметру слоями высотой не более 0,8 м длины рабочей части глубинного вибратора. При устройстве рабочих швов их поверхность должна быть тщательно обработана.



**Рис. 5.16. – Схема бетонирования стен.**

- а - стен толщиной 0,5 м и более и высотой более 3 м; б- тонких стен;  
 в - послойное бетонирование стен бетононасосами;  
 1 - щиты опалубки, 2 - связь жесткости, 3 - расчалка, 4 - стяжка, 5 - воронка,  
 6 – звеньевой хобот, 7 - телескопические стойки, 8 - забетонированный участок,  
 9 - вибратор, 10 - рукав бетононасоса, 11 - разделительная опалубка,  
 12 - наружный щит опалубки, 13 - арматурный каркас, 14 - бадья,  
 15 - направляющий щит, 16 - подмости, 17 - подкос.

### 5.7.8 Бетонирование колонн и ребристых перекрытий, сводов и арок

Для бетонирования густоармированных колонн сечением менее  $0,5 \times 0,5$  м применяют бетонную смесь с осадкой конуса 6...8 см и крупностью заполнителя до 20 мм. При слабом армировании и большем сечении колонн осадку конуса бетона можно снизить до 4...6 см, а крупность заполнителя до 40 мм.

Высота непрерывного бетонирования колонн должна быть не более 5 м. При большей высоте колонн необходимо устраивать перерыв для осадки свежеложенной бетонной смеси на 1...2 ч. Перед бетонированием колонны укладывается слой жидкого цементного раствора толщиной 3-5 см.

Колонны высотой до 5 м сечением до 0,8 м при отсутствии перекрещивающихся хомутов бетонируют сверху с уплотнением глубинными вибраторами, опускаемыми на веревках. При большей высоте колонн смесь подают через воронки по хоботам и уплотняют навесными или внутренними вибраторами.

Высокие и густоармированные колонны с перекрещивающимися хомутами бетонируют через окна в опалубке и специальные карманы или же поярусно (1,5-2,0 м) с установкой опалубки с четвертой стороны по мере бетонирования очередного яруса.

Бетонирование балок и плит ребристых перекрытий, а также безбалочных перекрытий, монолитно связанных с колоннами и стенами, следует производить не ранее чем через 1-2 ч после окончания бетонирования колонн и стен.

При высоте перекрытия до 0,5 м балки и плиты бетонируют одновременно в один слой. При высоте 0,5-0,8 м перекрытие бетонируется в два слоя. Граница слоев должна проходить по балке на 0,2-0,3 м ниже плиты перекрытия. При высоте балок более 0,8 м их рекомендуется бетонировать отдельно от плит и устраивать рабочий шов на 30 мм ниже плиты.

В густоармированные балки укладывают подвижную мелкозернистую бетонную смесь ( $OK=6-8$  мм  $d=20$  мм) и уплотняют внутренними вибраторами.

Укладку бетонной смеси в плиты производят по маячным рейкам, которые устанавливают рядами через 2-2,5 м и прибивают к бобышкам на опалубке. После снятия реек и бобышек оставшиеся в плите углубления заполняют бетонной смесью и уплотняют.

Плиты толщиной до 0,25 м уплотняют поверхностными вибраторами, передвижаемыми по маячным рейкам, а при толщине плиты более 0,25 м с одиночной арматурой и более 0,12 м с двойной арматурой уплотняют сначала глубинными, а затем поверхностными вибраторами.

При возведении зданий методом подъема пакет железобетонных плит перекрытий (по числу этажей здания) изготавливают внизу на уровне верха фундаментов. Плиты имеют размеры, соответствующие размерам и конфигурации здания в плане.

Технология бетонирования плит соответствует приведенной выше. Особенностью работ является необходимость устройства специальных разделительных слоев между плитами. Для этой цели применяют лак-этиноль и известковый шлак с добавлением казеинового клея или казеиномеловую пасту.

Лак-этиноль набрызгивают краскопультом в два слоя общей толщиной - до 1 мм с разрывом в 2 ч. После этого через 2 ч наносят слой известкового шлака с казеиновым клеем.

Своды и арки небольшого пролета бетонируют без перерыва. При этом укладку бетонной смеси с осадкой конуса 1-3 см и крупностью заполнителя до 20 мм ведут одновременно с двух сторон, от опор к середине для исключения перекоса опалубки. Иногда при больших пролетах опалубку в ключе свода временно загружают, например, мешками с песком.

При пролетах арки или цилиндрической оболочки более 20 м с большими сечениями бетонируют участками. Между участками оставляют полосы шириной 0,8-1,2 м, которые бетонируют через 6-8 суток после того, как произойдет усадка бетона основных участков. Для разделительных полос применяют жескую смесь ( $OK=0-1$  см).

Своды-обложки толщиной менее 5 см торкретируют.

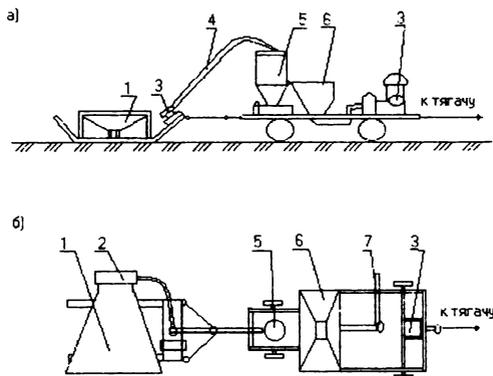
## 6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОННЫХ РАБОТ.

### 6.1 Раздельное бетонирование

При возведении железобетонных резервуаров, фундаментов под оборудование, монолитных свайных фундаментов, крепей горных выработок при больших притоках грунтовых вод и других конструкций укладка и уплотнение бетонной смеси по обычной технологии оказывается весьма трудоемкой, особенно в густоармированных конструкциях или в труднодоступных местах. В таких случаях целесообразно применить раздельное бетонирование инъекционным или вибрационным способами.

Сущность инъекционного способа заключается в том, что сначала в опалубку конструкций равномерно (без нарушения проектного расположения арматуры) укладывают крупный заполнитель. Затем в межзерновые пустоты заполнителя нагнетают под давлением цементно-песчаный раствор с подвижностью не менее 12 см при соотношении цемента и песка в смеси 1:2 (по массе). Песок должен быть с размером фракций не более 2-2,5 мм.

Способ раздельного бетонирования имеет целый ряд преимуществ по сравнению с обычной технологией производства бетонных работ. Уменьшается трудоемкость перемешивания растворной смеси по сравнению с бетонной. При раздельном бетонировании имеется возможность использования крупного заполнителя больших размеров поскольку его не смешивают с раствором в бетоносмесителях. Существенно облегчается транспортирование материалов, так как проще раздельно перевозить крупный заполнитель и растворную смесь. Повышается уровень механизации работ, исключается ручное распределение и уплотнение бетонной смеси. Повышается водонепроницаемость сооружения вследствие уменьшения количества горизонтальных рабочих швов.



**Рисунок 6.1 – Передвижная инъекционная установка с активатором ЦНИИОМТП.**

а) - общий вид; б)- план;

1 - бункер для приемки раствора, 2 - виброрисито, 3 - растворонасос СО-10, 4 - резиновый трубопровод; 5 - турбулентный смеситель, 6 - промежуточный бункер, 7 – трубопровод для подачи раствора в конструкцию.

При толщине конструкции более 1 м раствор инъецируют через стальные инъекционные трубы, устанавливаемые в опалубку до укладки крупного заполнителя, а при толщине бетонируемой конструкции менее 1 м - через специальные инъекционные отверстия в опалубке конструкции.

Желательно приготавливать раствор в высокоскоростных турбулентных смесителях. При подаче раствора с центрального смесительного узла турбулентный активатор следует устанавливать непосредственно у места производства работ в технологической цепи инъецирования перед растворомасосом производительностью 6 м<sup>3</sup>/ч (рис.4.1).

Вибронагнетательный способ отличается тем, что при нагнетании цементно-песчаного раствора в межзерновое пространство глубинными вибраторами одновременно вибрируют крупный заполнитель, цементно-песчаный раствор и образующую бетонную смесь.

## **6.2 Торкретирование**

Способ торкретирования заключается в нанесении в струе сжатого воздуха на вертикальные, наклонные или горизонтальные поверхности одного или нескольких слоев цементно-песчаного раствора (торкрета) цемент-пушкой или бетонной смеси (набрызг бетона) торкрет-шприц-машиной или установкой "Пневмобетон".

Торкретирование применяется при возведении железобетонных конструкций, резервуаров, отстойников или горных выработок, в которых необходимо обеспечить водонепроницаемость, а также тонкостенных конструкций, сводов, оболочек, армоцементных покрытий и т.п., где обычные методы укладки бетонной смеси затруднительны и не обеспечивают необходимой плотности бетона.

Торкретирование применяется также при исправлении поврежденных поверхностей бетонных и железобетонных конструкций, заделке раковин, трещин и других дефектов, в случае необходимости усиления железобетонных конструкций, а также повышения их морозостойкости.

Существуют две принципиально отличные технологии торкретирования: торкретирование "сухими" смесями, торкретирование "готовыми" смесями.

Технологическая последовательность операций при торкретировании сухими смесями следующая:

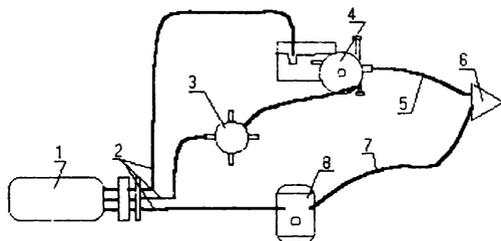
- загрузка приготовленной смеси в агрегат для пневмотранспорта её по рукавам;
- дозированная подача сухой смеси к разгрузочному устройству агрегата с одновременным подводом к нему сжатого воздуха;
- транспортирование сухой смеси в струе сжатого воздуха по рукавам к концевой насадке (соплу);
- дозированная подача в насадку воды под давлением, обеспечивающая перемешивание раствора в сопле;
- нанесение на торкретируемую поверхность факела готовой смеси, выходящего из насадки с высокой скоростью.

Технология же торкретирования готовыми смесями предусматривает:

- загрузку в нагнетатель, заранее приготовленной растворной или бетонной смеси;
- нагнетание готовой смеси по рукавам к насадке;
- подачу к насадке сжатого воздуха, эжектирующего поступающую по рукавам готовую смесь для увеличения скорости её выхода из насадки;
- нанесение на торкретируемую поверхность факела готовой смеси.

Торкретирование ведется цементно-песчаными растворами состава 1...2 - 1...6 в один, или несколько слоев по неармированной или армированной поверхности. В качестве вяжущего для торкрета применяется портландцемент марки 500, а также расширяющийся цемент, при этом в сухой торкретной смеси крупность зерен заполнителя должна быть не более 8 мм, а в бетонных смесях - 20 мм. Толщина слоя торкрета принимается равной 15-20 мм, причем каждый последующий слой наносится только после схватывания предыдущего.

Торкретирование цементно-песчаными растворами ведется при помощи специальной установки, основным агрегатом которой является цемент-пушка (рис.4.2).



**Рисунок 6.2 – Оборудование для торкретирования.**

1 - компрессор, 2 - воздушные шланги, 3 - воздухоочиститель, 4 - цемент-пушка, 5 - материалный шланг, 6 - сопло, 7 - шланг для воды, 8 - бак для воды.

Цемент-пушки выпускаются производительностью по сухой смеси 1,5-4 м<sup>3</sup>/ч и для малых объемов работ - 0,5-4 м<sup>3</sup>/ч. Первые могут подавать раствор по горизонтали на расстояние до 70 м, а по вертикали - на 40 м. Давление воздуха в цемент-пушке (или бетон-шприц-машине) устанавливается в пределах 150-350 кПа в зависимости от удаления машины по отношению к торкретируемой поверхности, а также от вида и размеров заполнителей и требований к торкретному слою (прочности, водонепроницаемости, морозостойкости). Вода к соплу подается под давлением, превышающем на 5... 15 кПа давление воздуха в машине.

Для уменьшения отскока в воду затворения добавляют поверхностно активные вещества, которые увеличивают клеящую способность смеси.

Смесь выбрасывается из отверстия сопла со скоростью до 120-140м/с. При этом сопло следует держать перпендикулярно к обрабатываемой поверхности на расстоянии 0,7-1,0 м.

Комплект оборудования для нанесения набрызг-бетона смонтирован на двухосном прицепе и в него входят бетоносмеситель принудительного перемешивания со скиповым подъемником, многоковшовый элеватор, бункер-накопитель, набрызг-машина, два бака для воды, шланги и компрессор.

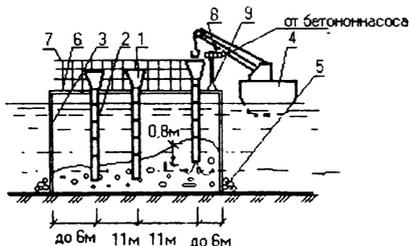
Оборудование для торкретирования готовыми смесями более разнообразно, чем для сухих смесей. Для торкретирования готовыми смесями применяются специально изготовленные агрегаты, реконструированные растворонасосы, а также обычные растворо- и бетононасосы с эжекцией воздуха в насадку на конечном участке бетонопровода.

### 6.3. Подводное бетонирование

При возведении сооружений, расположенных в водоемах, бетонирование ведут под водой без водоотлива. Этот способ применяют при возведении подводных частей туннелей, опор мостов, днищ опускных колодцев и при ремонте гидросооружений.

Укладывают бетон под водой одним из четырех способов: с помощью вертикально-перемещающихся труб, методом восходящего раствора, втрамбовыванием порций бетонной смеси в ранее уложенную и укладкой бетонной смеси в мешках.

Способ вертикально перемещающейся трубы (ВПТ) заключается в подаче бетонной смеси под воду по трубам диаметром не менее 200 мм, которые собирают из отдельных звеньев длиной 0,5-0,6 м каждое с плотными водонепроницаемыми легкоразъемными фланцевыми соединениями (рис. 6.3).



**Рисунок 6.3 – Подводное бетонирование методом вертикально перемещающихся труб (ВПТ).**

- 1 - загрузочная воронка, 2 - звенья труб, 3 - опалубка (шпунт), 4 - плавучий кран, 5 - мешки с цементом, 6 - рабочий пол, 7 - ограждение, 8 - бетоновод, 9 - стойка.

Сверху трубы снабжаются металлическими воронками или бункерами, объем которых должен обеспечить непрерывное питание труб бетонной смесью. По мере увеличения толщины бетонного слоя трубы поднимают с помощью кранов или лебедок. В нижней части трубы имеется клапан, который открывается с подмоостей дистанционно. Радиус действия одной трубы около 6 м.

С целью предохранения бетонной смеси от вымывания цемента и мелких частиц песка участок бетонирования ограждают шпунтовым рядом, который одновременно выполняет роль опалубки и несущих конструкций для рабочего пола.

Подвижность применяемой бетонной смеси при безвибрационной укладке должна составлять 14...22 см, а при вибрационной – 4...14 см. Крупность заполнителя не должна превышать 40 мм. В такие смеси необходимо вводить пластифицирующие добавки.

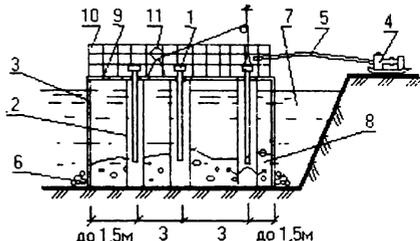
Под воду бетонную смесь подают бетононасосами, пневмонагнетателями или другими механизмами, обеспечивающими непрерывность бетонирования.

Трубы с закрытыми нижними клапанами устанавливают так, чтобы нижние их торцы не доходили до дна на 15-20 см. Бетонную смесь загружают в трубы доверху, после чего открывают клапаны. Смесь, которую продолжают подавать через воронки, выходит из нижних торцов труб, образуя у трубы конусы. Последующие порции смеси, выходящие из трубы, не соприкасаются с водой, так как торец трубы должен быть заглублен в слой смеси не менее чем на 0,8 м

при глубине бетонирования до 10 м и не менее чем на 1,5 м при глубине до 20 м. При подъеме трубы по мере бетонирования нижний конец трубы должен быть все время в бетоне. Этот способ применяется при глубине бетонирования до 50 м.

Метод восходящего раствора (ВР) заключается в нагнетании в каменную наброску цементного раствора (рис. 6.4).

Методом ВР допускается вести безнапорное и напорное бетонирование. Трубы для подачи раствора диаметром 37-100 мм ставят в ограждающие шахты из швеллеров. Радиус действия одной трубы до 3 м. Цементный раствор или тесто с осадкой конуса 10-12 см подают с помощью растворонасоса в песчано-щебеночную отсыпку, если высота блока бетонирования более 10 м. В остальных случаях раствор заливают в трубу через воронку и он под собственным весом проникает в каменную наброску.



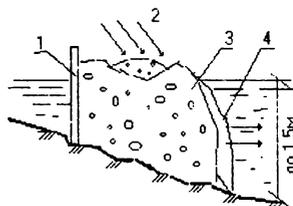
**Рис. 6.4. – Подводное бетонирование методом восходящего раствора (ВР)**

1 - труба, 2 - шахта, 3 - шпунтовое ограждение (опалубка), 4 - растворонасос, 5 - шланг, 6 - каменнощебеночная отсыпка, 7 - вода, 8 - раствор, 9 - настил, 10 - ограждение, 11 - лебедка.

По аналогии с методом ВПТ трубы поднимают, оставляя нижний конец на 0,8-1,0 м в растворе.

По сравнению с методом ВПТ метод ВР проще, так как вместо бетонного завода используют растворосмесительную установку меньшей производительности, кроме того, при раздельной укладке компонентов бетонной смеси уменьшается вероятность расслаивания бетона.

Метод втрамбовывания бетонной смеси (рис. 6.5) или укладку её в мешках следует применять при глубинах воды до 1,5 м для конструкций, бетонируемых от отметки, расположенной выше уровня воды. При таком способе бетонирования бетонная смесь вначале укладывается в виде островков в одном из углов бетонируемого блока, затем распространяется в бетонируемом блоке втрамбовыванием или под действием вибрации. Подвижность бетонной смеси должна быть 5-7 см с крупностью заполнителя 39-40 мм.



**Рис. 6.5. – Подводное бетонирование методом втрамбовывания.**

1 - стенка ограждения, 2 - втрамбовывание порции бетонной смеси, 3 - уложенная бетонная смесь, 4 - расслаивающийся слой бетонной смеси.

Вновь подаваемые порции бетонной смеси втрамбовывают с превышением 200-300 мм над урезом воды. Подводный откос островка, с которого начинается втрамбовывание, должен образовать под водой угол 35-40° к горизонтали. Смесь втрамбовывают равномерно с такой интенсивностью, чтобы не нарушался процесс твердения уложенного бетона.

Один из размеров блока бетонирования в плане должен быть больше удвоенной глубины.

Бетонирование под водой путем укладки бетонной смеси в мешках, допускается только как вспомогательный метод для временного ограждения участка работ в акватории, выравнивания основания блоков бетонирования, временной заделки каверн и аварийных повреждений гидротехнических сооружений и т.п. Мешки из редкой, но прочной ткани наполняют не более, чем на 2/3 объема бетонной смесью (сразу после её приготовления), прочно завязывают или зашивают. Большая часть мешков должна иметь объем 0,01-0,02 м<sup>3</sup> каждый и лишь небольшое их количество - объем 0,005-0,007 м<sup>3</sup>, чтобы их можно было укладывать вручную. Мешки со смесью укладывают водолазы с перевязкой стыков, тщательно прижимая их один к другому.

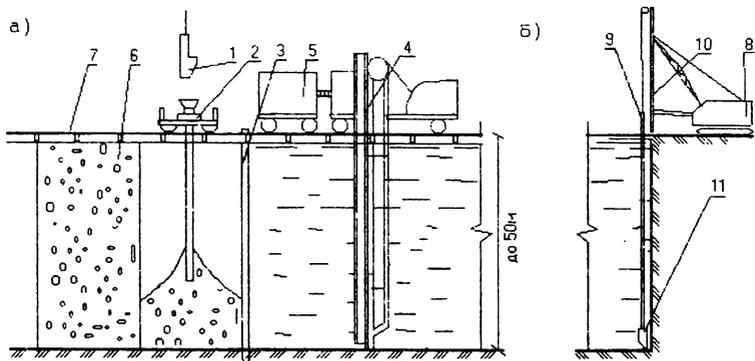
### **6.5. Бетонирование конструкций методом "стена в грунте"**

Метод предусматривает укладку бетонной смеси в глубокие траншеи, предварительно заполненные глинистым раствором, препятствующим обрушению их стенок. Такая технология позволяет резко сократить объем земляных работ за счет отсутствия откосов котлованов, выполнять работы непосредственно вблизи от ранее построенных зданий, упростить и удешевить устройство конструкций глубокого заложения в условиях интенсивного притока подземных вод. Метод "стена в грунте" при достаточном технико-экономическом обосновании применяется при возведении подземных галерей и тоннелей, при строительстве подземных этажей высотных зданий, гаражей, пешеходных и транспортных переходов, противофильтрационных диафрагм и т.п.

Глубина заложения "стен в грунте" определяется преимущественно возможностями специальной землеройной техники для разработки траншей. Для рытья неглубоких (до 12 м) траншей шириной 0,5-1,0 м применяется штанговый экскаватор конструкции НИИСП. На базовом экскаваторе навешивается копровая установка с грейферным ковшом.

Для разработки траншей глубиной до 50 м в отечественной практике широко применяется буровфрезерный агрегат СВД-500 (рис.6.6).

Техническая характеристика установок СВД-500 и СВД-500Р	
Ширина траншеи, м	0,5-0,6 0,5-0,7
Максимальная глубина траншеи, м	30 50
Максимальная скорость проходки, м <sup>2</sup> траншеи/час:	
В мягких грунтах	70 80
В мягких грунтах с прослойками твердых грунтов	30
В твердых грунтах с $\sigma_r=100-120$ МПа	
с незначительной трещиноватостью	2 5
Сменная производительность проходки (средняя) в мягких грунтах, м <sup>2</sup> /траншеи	100-150
Мощность приводного бурового снаряда, кВт	94 105
Частота вращения бура, мин <sup>-1</sup>	256 256
Производительность эрлифта, м <sup>3</sup> ч	400-500 600
Масса установки, кг	35000 45000
Базовая машина	Э-505 Э-506



**Рис.6.6. – Схема возведения "стен в грунте" из монолитного железобетона.**

а - агрегатом СВД-500; б - штанговым экскаватором.

1 - бадья для бетона, 2 - установка для заполнения траншеи бетоном, 3 – разделительный элемент, 4 - агрегат СВД-500, 5 - ситогидроциклонная установка, 6 - забетонированный блок, 7 - рельсовый путь, 8 - экскаватор, 9 - копровая стойка, 10 - штанга-рукоять, 11 - грейферный ковш со стругом.

Бетонирование "стен" производят захватками длиной до 6 м, которые ограничивают поперечными перегородками из профильного металла или сборных железобетонных конструкций.

Арматурные каркасы стен устанавливают непосредственно перед бетонированием. В качестве рабочей арматуры применяется сталь периодического профиля классов А-II и А-III. Для удобства погружения арматурных каркасов в траншею и создания требуемого защитного слоя (не менее 50мм) их снабжают отгибами-салазками или направляющие бетонные ролики, закрепленные на арматурном каркасе в шахматном порядке через 3-4 м.

Бетонирование стен осуществляется подачей бетонной смеси под глинистый раствор через воронку с затвором в вертикальные составные трубы диаметром 200-350 мм из звеньев длиной 1-1,5 м. По мере бетонирования бетонную трубу поднимают краном (лебедкой) и укорачивают посекционно с таким расчетом, чтобы нижний конец её был заглублен в бетонную смесь на 1-2 м. Перерывы в бетонировании допускаются не более 1,1-1,5 ч. Для бетонирования, как правило, применяются литые бетонные смеси с осадкой конуса 18-22 см, водоцементное отношение не более 0,6; срок схватывания бетонной смеси не менее 2ч; бетон классов В20...В40.

Вытесняемый из траншеи глинистый раствор в процессе бетонирования отводится по лотку в разрабатываемую захватку или запасную емкость. Укладку бетонной смеси следует прекращать после появления на уровне устья траншеи чистой бетонной смеси. Загрязненный глинистым раствором слой

бетонной смеси следует удалить. Когда бетон приобретает расплывчатую прочность, инвентарный ограничитель извлекают и переставляют на границу очередной захватки. При устройстве подземных сооружений после приобретения бетоном проектной прочности разрабатывают грунт внутреннего объема. Устойчивость и прочность стен, отрывающихся по мере разработки внутреннего массива, обеспечивают временными или постоянными распорками, установкой рам, диафрагм, перекрытий и анкеров.

Для приготовления глинистых растворов из бентонитовых или местных глин с содержанием глинистых частиц 30-50%, служат гидравлические или механические смесители, а для их перекачки и подачи в траншею грязевые и центробежные насосы. В гидравлических смесителях смешение происходит в диффузоре за счет кинетической энергии струи воды, поступающей в него через смесительное сопло. Производительность таких смесителей составляет 60-120 м<sup>3</sup>/ч при плотности раствора 1020-1400 кг/м<sup>3</sup> и давлении воды в магистрали 1,5-2,5 МПа.

Глинистый раствор должен иметь показатели, обеспечивающие устойчивость стенок траншей до полного окончания работ по устройству конструкции. Плотность раствора при использовании для его приготовления бентонитовых глин следует принимать 1,05-1,15 кг/м<sup>3</sup>, при использовании других видов глин - 1,2-1,3 кг/м<sup>3</sup>.

Устойчивость стенок траншеи обеспечивается соблюдением следующих условий:

$$Q_p \geq 1.1(Q_z + Q_w); \quad (6.1)$$

$$P_p \geq P_{az} + P_w, \quad (6.2)$$

где:  $Q_p$ ,  $Q_z$ ,  $Q_w$  - соответственно равнодействующие давлений на глубине траншеи глинистого раствора, грунта и подземных вод;

$P_p$ ,  $P_{az}$ ,  $P_w$  - соответственно интенсивности давлений глинистого раствора, грунта и подземных вод.

Возведение конструкций способом "стена в грунте" можно осуществлять от существующих зданий на расстояния, ориентировочно равным:

$$l \geq \frac{b}{2} \text{ при } \frac{b}{H} < 2; \quad (6.3)$$

$$l > H * \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi_1}{2} \right) \text{ при } \frac{b}{H} \geq 2; \quad (6.4)$$

где  $b$  - длина захватки, м;  $H$  - глубина траншеи, м;  $\varphi_1$  - среднее взвешенное расчетное значение угла внутреннего трения, град.

## **6.6. Бетонирование в скользящей опалубке**

В скользящей опалубке бетонируют стены многоэтажных зданий, высотных сооружений (силосов копров), имеющих постоянное сечение по высоте и одинаковую толщину стен. Бетонирование в скользящей опалубке – специфический технологический процесс, предусматривающий непрерывность формирования вертикальных железобетонных элементов при механизированном подъеме собственно опалубки и сопряженной с ней оснастки.

Достоинствами скользящей опалубки являются возможность достижения высокого темпа производства работ, повышенная монолитность сооружений из-за сокращения количества швов, снижение стоимости и трудоемкости работ, вследствие исключения процессов монтажа и демонтажа опалубки.

Перед началом бетонирования строительную площадку необходимо обеспечить достаточным запасом необходимых материалов, заготовками арматуры, закладными частями, домкратными стержнями и т.д.

Скользющую опалубку собирают на фундаментной плите или перекрытии цокольного этажа из щитов, устанавливаемых сразу по всему наружному и внутреннему контуру будущего сооружения. Щиты с помощью кружал крепят с некоторой конусностью к П-образным домкратным рамам. На рамах устанавливают домкраты, имеющие в штоках каналы для пропуска стальных стержней, служащих им опорами. В опалубку устанавливают арматуру и приступают к бетонированию. Бетонную смесь укладывают в скользящую опалубку слоями, как правило, не превышающими 20-25 см при подвижности 8-10 см. Высота слоя ограничивается допустимым давлением смеси на щиты опалубки, необходимостью равномерной её загрузки, а также требованием перекрытия слоев без образования рабочего шва.

Скорость подъема опалубки и темп бетонирования определяется характеристиками бетона и бетонной смеси, а также условиями её взаимодействия с опалубкой. Наилучшие условия взаимодействия скользящей опалубки с уложенным бетоном создаются при прочности выходящего из-под щитов бетона в пределах 0,2-0,3 МПа. При меньшей прочности возможны деформации (оползание бетона), при большей – ухудшаются условия подъема, так как трение поднимаемой опалубки происходит не по отформованной смеси, а по затвердевшему бетону.

Прочность выходящего из-под щитов опалубки бетона 0,2-0,3 МПа достигается в зависимости от его состава и используемых материалов, а также от температуры окружающего воздуха за период 4-12 ч. Для обычно принимаемой высоты щита 130 см продолжительность нахождения бетона внутри опалубки определяет скорость её движения соответственно 260-90 см/смену.

Для подачи бетонной смеси, арматуры и других материалов на рабочий пол используют приставные или самоподъемные башенные краны, которые устанавливают в лифтовых шахтах или лестничных клетках. Иногда для вертикального перемещения бетонной смеси, арматуры и других материалов применяют скиповые подъемники и лифты.

Распределяют бетонную смесь на этаже с помощью монорельсов, закрепляемых над домкратными рамами, мототележками с опрокидывающимися кузовами, ленточные транспортеры с поворотом секции в горизонтальной плоскости и изменением вылета, бетононасосами.

Опалубку сначала заполняют на высоту 60-70 см двумя или тремя слоями в течении 3-3,5 ч. После приобретения нижним слоем распалубочной прочности опалубку поднимают с расчетной скоростью с укладкой равномерно по периметру слоя толщиной 20-25 см.

Перерывы между подъемами опалубки не должны превышать 8 мин, при вынужденных перерывах в бетонировании опалубка переводится на режим "шаг на месте" или необходимо медленно поднять ее до образования видимого зазора между опалубкой и бетоном.

При подъеме опалубки строго контролируется проектное положение и горизонтальность рабочего пола по контрольным рейкам, установленных на домкрате и рискам, нанесенным на домкратном стержне. При использовании для подъема опалубки домкратов ОГД-64 контроль и выравнивание горизонтальности происходит автоматически с помощью регуляторов горизонтальности АРГ-64У.

Оконные и дверные проемы в монолитных стенах образуют путем установки черновых коробок, которые затем извлекают или устанавливают постоянные оконные и дверные блоки.

Для обеспечения соблюдения жестких графиков поставки бетонной смеси для бетонирования конструкций в скользящей опалубке предпочтительно приготавливать бетонную смесь на приобъектных мобильных автоматизированных бетоносмесительных установках.

Перекрытия в зданиях, стены которых возводятся в скользящей опалубке, бетонируют следующими способами: в переставной опалубке с отставанием от бетонирования стен на 2-3 этажа; непосредственно после возведения стен каждого этажа с остановкой скользящей опалубки; сверху вниз, в опалубке, закрепляемой на вышерасположенном перекрытии; в опалубке, отсоединяемой на каждом этаже от скользящей; подъемом плит перекрытий, бетонируемых в подвальном помещении, лебедками и монтажом их в проектных точках.

Применение скользящей опалубки в монолитном домостроении, особенно в режиме с многочисленными остановками, ставит под вопрос ее конкурентоспособность для использования при возведении многоэтажных зданий по сравнению с прогрессивными конструкциями объемно-блочной и переставной опалубки с механизированным подъемом. Их применение не ставит каких-либо особых требований к составу бетона, кинетике набора его прочности, позволяет сравнительно просто бетонировать конструкции зимой и обеспечивает лучшее, чем при скользящей опалубке, качество поверхности.

## 7. УХОД ЗА БЕТОНОМ И КОНТРОЛЬ ЕГО КАЧЕСТВА.

### 7.1. Условия твердения бетона, распалубка и уход за ним

Физико-механические свойства бетона в значительной степени определяются характером протекания процесса гидратации цемента, а также внутренним напряженным состоянием, возникающим в результате температурно-усадочных деформаций. Оказанные факторы связаны с условиями выдерживания уложенного в опалубку бетона температурой и влажностью окружающей среды. Особенно важно учитывать эти факторы при возведении монолитных конструкций в условиях строительной площадки. Поэтому для того чтобы уложенный бетон приобрел требуемую прочность в назначенный срок, за ним необходим правильный уход. Отклонение условий твердения от благоприятных для бетона приводит к снижению его расчетных параметров, несмотря на качественные исходные материалы, правильный подбор состава бетона и тщательное бетонирование. Особенно необходимо обеспечить благоприятные для бетона условия в течение первых суток после укладки. Прежде всего необходимо поддерживать свежесуложенный бетон во влажном состоянии, предохранение его от динамических воздействий, а также от резких изменений температуры и быстрого высыхания. При твердении на открытом воздухе бетон особенно при низкой относительной влажности воздуха и высокой температуре быстро высыхает с поверхности. Поэтому для предотвращения высыхания бетона и появления усадочных трещин необходимо его укрывать и увлажнять не позднее, чем через 10-12 ч по окончании бетонирования, а в жаркую и ветреную погоду - через 2-3 ч после его укладки.

В жаркую сухую погоду (при температуре 15°C и выше) поливку следует выполнять в первые трое суток днем не реже, чем через каждые 3ч. и не менее одного раза ночью, а в последующие дни - не реже 3 раз в сутки.

Для предохранения бетона от непосредственного воздействия солнечных лучей горизонтальные поверхности следует укрывать влагоемкими материалами и периодически поливать эти материалы, поддерживая их во влажном состоянии.

Уход за бетоном осуществляется до получения им 70%-ой проектной прочности (3-15 дней), что зависит от вида цемента и температуры среды.

При большой площади бетонной поверхности целесообразно поливку заменять покрытием бетона защитными пленками, например, этинолевым лаком или водобитумной эмульсией. Для дорожных покрытий применяют также светлые составы: ПМ-86, ПМ-100, ПМ-100АМ. В отечественном дорожном строительстве для создания защитных пленок широко применяют помороль различных марок. Расход их для двухслойного покрытия в зависимости от погодных условий и типа пленкообразующего материала колеблется в пределах 400-100 г/м<sup>2</sup>. Хорошие показатели по паро- и влагоемкости имеют вододисперсионные пленкообразующие составы на основе латексов, как, например, Э-КЧ-47, разработанный на НПО "Пигмент" совместно с ВНИИГиМ. Расход этого материала при нанесении на поверхность свежесуложенного бетона 150-200 г/м<sup>2</sup>.

Применяют также выдерживание бетона под слоем воды (способ "покрывающих водных бассейнов"), для этого опалубку устраивают с бортиком высотой 5 см и по окончании начального периода ухода заливают поверхность конструкции слоем воды толщиной 5 см.

Движение людей по забетонированным конструкциям, а также установку на них лесов и опалубки допускают не ранее, чем бетон достигнет прочности 1,5 МПа. Это практически достигается при температуре воздуха +15°С через 2 суток, при +10°С - через 3 суток, при +5°С - через 4 суток. Движение бетоноукладочных машин, а также автотранспорта по забетонированной конструкции допускает только по достижении бетоном прочности, предусмотренной проектом производства работ.

Несущую опалубку железобетонных конструкций (нижние щиты) разрешается снимать только после достижения бетоном прочности, %, от проектной: плит и сводов пролетом: до 3 м - 50; пролетом от 3 до 8 м - 70;

балок и прогонов пролетом до 8 м - 70;

несущих конструкций пролетом более 8 м - 100.

Если фактическая нагрузка на конструкции более 70% нормативной, несущую опалубку снимают после того, как бетон наберет проектную прочность.

Для сооружений, возводимых в сейсмических районах, величину прочности бетона, при которой разрешается снимать несущую опалубку конструкций, следует указывать в проекте.

Удалению несущей опалубки должно предшествовать плавное и равномерное опускание поддерживающих лесов - раскружаливание. Для этого опускают опорные домкраты, ослабляют парные клинья или выпускают песок из опорных цилиндров под стойками. Опоры, поддерживающие опалубку балок, прогонов и ригелей опускают одновременно по всему пролету.

Снимать боковые элементы опалубки, не несущие нагрузок, можно после достижения бетоном прочности, обеспечивающей сохранность углов, кромок и поверхностей. Боковые щиты фундаментов, колонн, стен, балок и ригелей снимают через 8-72 ч. Эти сроки устанавливают на месте в зависимости от вида цемента и температурно-влажностного режима твердения бетона.

Проведенные мероприятия по уходу за бетоном ежедневно заносят в журнал бетонных работ.

## **7.2. Контроль качества**

За процессом бетонирования необходимо вести систематический контроль на всех операциях, начиная от заготовительных процессов и кончая распалубку конструкции.

Контроль качества бетонных и железобетонных работ заключается в проверке:

- качества арматуры и составляющих бетон материалов, а также условий их хранения;
- работы бетоносмесительных установок, дозирующих устройств и бетонного хозяйства в целом;
- готовности блоков и участков сооружения к бетонированию (подготовка основания, установка опалубки, лесов, подмостей, арматуры и закладных деталей);
- качества бетонной смеси при её приготовлении, транспортировании и укладке;
- правильности ухода за бетоном, сроков распалубливания, а также частичного и полного загрузения конструкций;
- качества выполненных конструкций, осуществления мер по устранению обнаруженных дефектов.

Для приготовления бетонной смеси применяют качественные и чистые материалы. Контроль качества продукции на бетонном заводе включает в себя приемочный контроль качества материалов для бетона, контроль качества готовой продукции - бетонной смеси и затвердевшего бетона.

Испытания поступающих на бетонный завод или БСУ материалов для бетона проводятся для проверки соответствия их свойств - требованиям стандартов и технических условий. Результаты испытаний используют также для корректировки составов бетонной смеси при обнаружении существенных отклонений характеристик поступающих материалов от применявшихся ранее.

На всех бетонных заводах обязательно контролируется консистенция бетонной смеси и физико-механические свойства бетона и прежде всего его прочность.

Консистенция бетонной смеси определяется её удобоукладываемостью. Удобоукладываемость бетонной смеси по отечественным нормам оценивают показателями подвижности и жесткости с соответствующим подразделением бетонной смеси на подвижные и жесткие. В монолитном строительстве редко применяют бетонные смеси, не имеющие осадки конуса. Смеси с подвижностью 1-2 см применяют только при использовании мощных внутренних вибраторов в гидротехническом строительстве. Поэтому на заводах товарного бетона и тем более на БСУ проверку консистенции проводят только с помощью стандартного конуса.

Контроль качества бетона на строительной площадке направляют в первую очередь на соблюдение правил производства работ и, при необходимости, на проверку соответствия проектным требованиям характеристик бетона, а также качества готовых бетонных и железобетонных конструкций.

Контроль за соблюдением правил производства работ в соответствии с действующими нормами осуществляется по всем технологическим операциям, включая транспортирование смеси, укладку и уплотнение её в опалубке, уход за твердеющим бетоном и распалубивание. Контроль за указанными операциями осуществляется техническим персоналом строительной площадки и лабораторией строительной организации.

Качество бетонной и железобетонной конструкции в значительной степени зависит от качества опалубки, отсутствие в ней щелей, соответствия её размеров и осей проекту, правильности установки арматурных изделий и закладных деталей, соблюдения толщины защитного слоя бетона, выполнения требований послойной укладки бетонной смеси, качества подготовки рабочих швов, способа виброуплотнения.

Проверка прочности бетона на строительной площадке проводится по образцам, хранившихся в условиях, аналогичных условиям твердения конструкции; по образцам, отобраным из тела конструкций; либо неразрушающими методами. Контрольные образцы-кубы готовят на месте укладки из бетонной смеси, непосредственно укладываемой в опалубку бетонируемой конструкции, и хранятся в условиях твердения бетона конструкции. Каждая серия контрольных образцов состоит из трех одинаковых кубов размером 15x15x15 см и изготавливаются на каждую партию бетона, объем которой оговаривается стандартом в зависимости от вида бетонируемой конструкции. На объектах с общим объемом работ менее 50 м<sup>3</sup>, получающих товарную бетонную смесь с заводов и БСУ, расположенных на расстоянии не более 20 км, допускается оценка прочности бетона по данным лаборатории завода-изготовителя бетонной смеси без изготовления контрольных образцов на месте укладки. Однако это не распространяется на бетонируемые ответственных каркасных и тонкостенных конструкций (балок, колонн, плит перекрытий и покрытий, а также монолитных стыков сборных конструкций).

В отдельных случаях (например, в дорожном и аэродромном строительстве) помимо определения прочности бетона на сжатие испытывают его также на растяжение при изгибе.

В случаях, оговоренных проектом или специальными техническими условиями, бетон испытывают на прочность при осевом растяжении, на морозостойкость и водонепроницаемость.

Прямая оценка прочности бетона конструкций может производиться по образцам, отобранным из их тела. Например, при подводном бетонировании для проверки прочности бетона на сжатие выбуривают образцы-цилиндры. Иногда отбор образцов по возможности осуществляется выламыванием из массива куска бетона с последующей его распиловкой на образцы правильной формы.

В тех случаях, когда невозможно установить прочность бетона в конструкции путем испытания предварительно изготовленных или выпиленных образцов, она определяется неразрушающими методами. Для этого разработано множество методов, приборов и инструментов. Все эти методы являются косвенными, так как при испытаниях определяется не собственно прочность бетона, а какая-то характеристика ( $X_i$ ), с ней коррелирующая. Зависимость прочности бетона  $R_{сж}=f(X_i)$ , для каждого метода и вида бетона устанавливают предварительно экспериментом с составлением тарировочных графиков.

Методы определения прочности в готовых конструкциях подразделяются на механические и физические.

К механическим неразрушающим методам определения прочности бетона на сжатие в конструкциях относится метод с помощью молотка К.П. Кашкарова, шарикового молотка И.А.Физделя, диска Губбера и др. В этих методах используется зависимость между прочностью бетона на сжатие и его поверхностной твердостью.

Ряд методов (например, метод И.В.Вольфа) основан на зависимости между прочностью бетона и усилием, необходимым для извлечения из него забетонированных стальных элементов.

Имеется также группа приборов для определения прочности бетона, основанная на измерении упругого отскока бойка от поверхности бетона при ударе с определенной энергией (пружинный молоток КМ и др.).

Из физических методов испытания бетона в конструкциях наиболее развитыми и широко применяющимися в практике являются акустические методы. Они позволяют определять физико-механические характеристики бетона по параметрам волнового процесса, развивающегося в конструкции или образце при возбуждении в них колебаний. По типу волнового процесса акустические методы подразделяются на импульсные и непрерывные. Импульсные методы в зависимости от способа возбуждения акустического сигнала подразделяют на методы прозвучивания и волны удара, а непрерывные - на методы свободных и вынужденных колебаний. Методы непрерывных колебаний при использовании низких частот (до десятков Гц) называют вибрационными.

Наибольшее распространение для контроля качества бетона получил ультразвуковой импульсный метод (приборы Бетон-12, УК-14П, УК-10ПМС). При контроле этим методом определяют время пробега импульса через бетон между двумя акустическими преобразователями-излучателями и приемником. Зная это время и базу измерения, вычисляют скорость распространения ультразвука. По скорости распространения ультразвуковой волны можно рассчитать динамический модуль упругости испытываемого бетона ( $E_d$ ). Прочность бетона можно установить по существующей корреляционной зависимости:

$$R_{сж} = f(E_d) \quad (7.1)$$

Для использования неразрушающих методов контроля должна быть обеспечена достаточно тесная статистическая связь результатов измерения косвенных характеристик и результатов разрушающих испытаний образцов. В отечественных стандартах в качестве критерия тесноты связи принята величина среднеквадратичного отклонения, которая не должна превышать 12%.

### **7.3. Исправление дефектов бетонных и железобетонных конструкций**

Дефекты бетонных и железобетонных конструкций могут быть результатом нарушения технологии производства работ, либо условий эксплуатации. Некоторые дефекты отражаются на эстетическом восприятии, другие уменьшают несущую способность конструкций и сооружений, а третьи приводят к снижению их долговечности.

Ошибки в подборе материалов для бетона, подборе состава, технологии приготовления, укладки, уплотнения и ухода за бетоном вызывают характерные дефекты - каверны, раковины, трещины. Разрушение бетона при эксплуатации конструкций в агрессивных условиях, из-за воздействия мороза, выщелачивания, абразивного воздействия и пр. могут потребовать специальных исследований для выявления причин возникновения дефектов границ их распространения и выбора методов ремонта.

Открытые бетонные поверхности с мелкими раковинами, не имеющие ноздреватости, после расчистки и смачивания водой затирают цементным раствором. Крупные раковины, образовавшиеся в результате плохого уплотнения или утечки цементного раствора через щели опалубки, расчищают на всю глубину. Весь рыхлый бетон вырубает отбойными молотками с последующей продувкой сжатым воздухом и промывкой водой.

Основной задачей ремонта таких дефектов является обеспечение хорошего сцепления поверхности расчищенного участка с вновь укладываемым бетоном, поэтому он должен обладать минимальной усадкой. Заделку бетоном применяют для дефектных участков сравнительно крупных размеров. Дефектные участки малой глубины заделывают цементнопесчаным раствором. Раствор для заделки желателен иметь того же состава, что и растворная часть ремонтируемого бетона. Этот раствор готовится за 1-2 ч до укладки для прохождения начальных процессов гидратации и снижения пластической усадки. Класс бетона и раствора должна быть той же марки или даже на одну ступень выше класса ремонтируемого бетона.

Небольшие дефекты заделывают вручную. При заделке крупных раковин наилучшие результаты дает торкретирование, например, портативными пневматическими агрегатами.

Качественный ремонт дефектов обеспечивается при использовании составов на основе эпоксидных смол, акриловых эмульсий.

Усадочные трещины в железобетоне в период эксплуатации могут привести к коррозии арматуры и поэтому должны быть тщательно заделаны силиконовыми, битумными, резинобитумными и другими изолирующими составами путем инъектирования через штуцеры, заделанные на эпоксидной мастике в заранее высверленные на глубину 20-25 мм отверстия вдоль трещины.

## 8. ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ.

### 8.1. Особенности бетонирования в зимних условиях

Понятие "зимние условия" при производстве бетонных работ отличается от календарного. В условиях, когда среднесуточная температура наружного воздуха снижается до  $+5^{\circ}\text{C}$ , а в течение суток наблюдается её падение ниже нуля, бетонные работы выполняются по специальным правилам, установленным действующими нормативами.

Согласно современным теоретическим представлениям образование и твердение цементного камня последовательно проходит через стадии формирования коагуляционной и кристаллизационной структур. В стадии образования коагуляционной (связной) структуры вода, обволакивая мелкодисперсные частицы цемента, образует вокруг них сольватные оболочки, которыми частицы сцепляются друг с другом.

По мере гидратации цемента процесс переходит в стадию кристаллизации. При этом в цементном тесте возникают мельчайшие кристаллы, которые затем превращаются в сплошную кристаллическую решетку, определяя твердение и рост прочности бетона. Для твердения цементного камня наиболее благоприятна температура  $+5...+25^{\circ}\text{C}$ , при которой бетон на 28 сутки практически достигает стабильной прочности.

При температуре  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже в бетоне прекращаются процессы гидратации, а при замерзании вода увеличивается в объеме примерно на 9%. В результате микроскопических образований льда в бетоне появляются внутренние силы давления, нарушающие кристаллические новообразования, которые в дальнейшем при твердении в нормальных условиях уже не восстанавливаются. Кроме того, вода образует вокруг крупного заполнителя обволакивающую пленку, которая при оттаивании нарушает сцепление и, следовательно, монолитность бетона. При раннем замораживании по тем же причинам резко снижается сцепление бетона с арматурой. Раннее замораживание также уменьшает плотность бетона, что понижает его водонепроницаемость, а, следовательно, и морозостойкость.

В процессе оттаивания замерзшая свободная вода вновь превращается в жидкость и процесс твердения бетона возобновляется. Однако ввиду наличия уже нарушенной структуры конечная прочность такого бетона ниже прочности бетона, выдержанного в нормальных условиях, и тем в большей степени, чем раньше был заморожен бетон.

Если бетон к моменту замерзания наберет определенную прочность, то отрицательное влияние замораживания невелико или вовсе отсутствует. Прочность бетона, после достижения которой замораживание его уже не вносит необратимых нарушений в структуре цементного камня называется критической прочностью.

Действующим стандартом предусмотрено, что прочность монолитного бетона к моменту замерзания должна быть не менее 5 МПа (для бетона класса не ниже С8/10) и не менее 50% проектной прочности. Для бетонов классов С12/15, С16/20 и С20/25 критическая прочность бетона в предварительно напряженных конструкциях должна быть не ниже 70% проектной. Если же конструкции предполагается нагружать в зимний период, то к моменту замораживания прочность бетона в них должна достигнуть 100% от проектной.

Поэтому, учитывая вышесказанное, при бетонировании конструкций в зимних условиях решаются следующие технологические задачи:

- обеспечение таких режимов выдерживания бетона, которые позволили бы в сжатые сроки забетонировать конструкцию и сразу же передать на нее проектные нагрузки,

- обеспечение таких режимов выдерживания бетона, при которых он набрал бы до замораживания критическую прочность.

Существующие методы зимнего бетонирования подразделяют на две основные группы; с безобогревным выдерживанием бетона в опалубке и с искусственным его прогревом. Методы бетонирования с искусственным прогревом позволяют не только непрерывно вести работы в зимних условиях, но и интенсифицировать процесс набора прочности бетоном, сократить сроки строительства и увеличить темп оборачиваемости опалубки.

К методам зимнего бетонирования с безобогревным выдерживанием бетона относят метод "термоса" и его разновидности с применением противоморозных добавок и с предварительным разогревом бетонной смеси.

К методам бетонирования с искусственным прогревом бетона конструкций относят электротермическую обработку (электропрогрев сквозной и периферийный, индукционный электропрогрев, греющие опалубки), прогрев бетона паром, горячим воздухом и в тепляках, обогрев инфракрасными лучами, (табл. 8.1).

**Таблица 8.1 – Рекомендуемые методы зимнего бетонирования**

Наименование конструкции	Модуль поверхности	Рекомендуемый способ
Массивные бетонные и железобетонные фундаменты	до 3	Способ термоса. Способ термоса с применением ускорителей твердения бетона при температуре наружного воздуха не ниже -20°С. Бетон с противоморозными добавками при более низких температурах.
Фундаменты под конструкции зданий и оборудования, массивные стены и т.п.	3-6	Способ термоса. Способ термоса с применением ускорителей твердения. Бетон с противоморозными добавками. Предварительный электроразогрев бетонной смеси. Периферийный электропрогрев.
Колонны, балки, прогоны, элементы рамных конструкций, свайные ростверки, стены, перекрытия и т.п.	6-10	Бетон с противоморозными добавками. Предварительный электроразогрев бетонной смеси. Электродный прогрев, электрообогрев с применением греющей опалубки. Индукционный электропрогрев.
Полы, перегородки, плиты перекрытий, тонкостенные конструкции каркасов.	10-20	Электродный прогрев, контактный обогрев с помощью греющей опалубки бетона с противоморозными добавками (для полов), инфракрасные излучатели.
Стыки, подливки.	20-100	Электродный прогрев, индукционный прогрев, применение добавок, не вызывающих коррозию стали.

## **8.2. Подготовка к производству бетонных работ в зимних условиях**

В зимних условиях грунт основания перед укладкой бетонной смеси специально подготавливают, предотвращая его от промерзания, и о готовности основания составляют акт приемки.

На объекте утепляют бетоносмесительные установки, галереи транспортеров и трубопроводов, возводят противоморозные добавки, прокладывают дополнительные электросети и налаживают трансформаторное хозяйство. Места выгрузки и укладки бетонной смеси защищают от ветра и снега брезентовым или фанерным щитом.

Перед укладкой бетонной смеси проверяют состояние опалубки и арматуры, считают наледь и снег. Арматуру диаметром более 25 мм предварительно отогревают до температуры +5<sup>0</sup>С горячим воздухом под легким полиэтиленовым или другим укрытием или применяя индукционный нагрев.

При возобновлении бетонирования после перерыва для лучшего сцепления слой ранее уложенного бетона отогревают, применяя, например, переносные инфракрасные излучатели.

Все работы положено вести в строгом соответствии с проектами производства работ и технологическими картами, в которых должны быть отражены следующие данные:

- способ и температурновлажностный режим выдерживания бетона;
- данные о материале опалубки и утеплителя с учетом требуемых теплоизоляционных показателей;
- данные о теплоизоляционном укрытии неопалубленных поверхностей;
- схема размещения точек, в которых следует измерять температуру бетона и наименование приборов для её измерения;
- сроки и порядок распалубливания конструкций.

В случае применения электротермообработки бетона должно быть дополнительно указано:

- схемы размещения и подключения электродов или электронагревателей;
- требуемая электрическая мощность, напряжение и сила тока;
- тип понижающего трансформатора.

## **8.3. Подбор составов и приготовление бетонных смесей при зимнем бетонировании**

При всех способах зимнего бетонирования при приготовлении бетонных смесей отдают предпочтение эффективным быстротвердеющим и высокоалитовым цементам с малым содержанием (до 10%) молотых добавок, хранившихся не более двух месяцев. Шлакопортландцементы и пуццолановые портландцементы используются лишь при термосном выдерживании массивных конструкций (с модулем поверхности  $M_{п\leq 4}$ ), эффективном утеплении наружных поверхностей или периферийном электропрогреве.

При подборе состава бетонных смесей для укладки в зимних условиях, дополнительно проверяют ее водоцементное отношение (уменьшают при повышении требований по морозостойкости и увеличивают при использовании предварительного электропрогрева бетонной смеси), а так же на возможность применения пластификаторов и противоморозных добавок. При приготовлении бетонной смеси необходимо обеспечить установленную расчетом температуру

на выходе её из бетоносмесителя, чтобы после теплопотерь, связанных с транспортированием смеси от завода до строительной площадки и неизбежными перегрузками, температура бетонной смеси была не ниже расчетной, необходимой для принятого режима выдерживания бетона.

Для обеспечения заданной температуры бетонной смеси ее составляющие в момент загрузки в бетоносмеситель также должны иметь соответствующую температуру, которая, как и температура готовой бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя, рассчитывается с учетом теплопотерь при загрузке и перемешивании. В практике строительства применяют подогретую до 40-90°C воду, оттаянные или подогретые до температуры 20-60°C заполнители. Цемент и тонкомолотые добавки вводят без подогрева.

При приготовлении бетонной смеси соблюдают следующую последовательность загрузки материалов в бетоносмеситель: одновременно с началом подачи воды загружают крупный заполнитель, после заливки половины требуемого количества воды и перемешивания в течение некоторого времени - песок, цемент и оставшуюся воду. Продолжительность перемешивания бетонной смеси для получения большей однородности в зимнее время увеличивают, как правило, в 1,5 раза по сравнению с летними условиями.

Минимально необходимая температура бетонной смеси после её укладки в опалубку зависит от способа выдерживания и принимается равной: при выдерживании бетона по методу "термоса" 25°C, для бетонов с противоморозными добавками - не менее 5°C, при использовании электропрогрева - не менее 5°C.

С другой стороны следует помнить, что при высокой температуре бетонной смеси снижается её подвижность. Поэтому при выходе бетонной смеси из бетоносмесителя её температура не должна превышать следующих максимально допустимых величин:

портландцемент М300 и шлакопортландцемент М300,400 .....	45°C
портландцемент м400 и пуццолановый портландцемент м300 .....	40°C
портландцемент м500 и пуццолановый портландцемент м400 .....	35°C
глиноземистый цемент .....	25°C

#### **8.4. Транспортирование бетонной смеси в зимних условиях**

Принятый способ транспортирования бетонной смеси с завода до объекта строительства должен обеспечить ее доставку к месту укладки в минимальные сроки, до начала схватывания при сохранении технологических параметров смеси. В среднем при температуре бетонной смеси в +20...30°C на портландцементе допустимое время транспортирования не должно превышать 45 мин., при температуре бетона в +10...20°C и +5...10°C – соответственно 90 и 100 мин.

Для перевозки бетонной смеси применяют специально оборудованные транспортные средства с утепленными кузовами, включая использование тепла отработанных газов с выгрузкой в утепленные бункера, контейнеры, бады и т.п.

Бетононасосы устанавливают в теплых помещениях, при морозах до -10°C звенья бетоноводов утепляют, при более низких температурах их укладывают в утепленные короба.

Во всех случаях в зимних условиях транспортировать и подавать бетонную смесь следует с наименьшим числом перегрузок, чтобы снизить ее теплопотери.

Требуемую температуру бетонной смеси на выходе из бетоносмесителя, или температуру предварительного ее электроразогрева определяют по формуле:

$$t_{CM} = \frac{(t_{E.H.} - t_{H.B.} * \sum \Delta t_{TP})}{1 - \sum \Delta t_{TP}}, \quad (8.1)$$

где:  $t_{E.H.}$  – начальная температура бетона после укладки в опалубку (определяется в зависимости от способа выдерживания бетона),  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{H.B.}$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\sum \Delta t_{TP}$  – суммарное снижение температуры бетонной смеси при всех операциях (от приемки из бетоносмесителя до укладки и укрытия в конструкции),  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t_{TP}$  – относительное снижение температуры бетонной смеси на каждой операции (при транспортировании, перегрузке, разгрузке, укладке и т.д.) при разнице температур наружного воздуха и бетонной смеси один градус.

Снижение температуры бетонной смеси при горизонтальном транспортировании, рассчитываемое по формуле:

$$\Delta t_{TP.T} = \Delta t'_{TP.T} * \Delta T * \tau, \quad (8.2)$$

где:  $\Delta t'_{TP.T}$  – изменение температуры бетонной смеси (град/град.мин) при транспортировании в течении 1 мин. В условиях перепада температур бетонной смеси и окружающего воздуха в  $1^{\circ}\text{C}$  (таблица 8.2).

$\Delta t$  – перепад температур наружного воздуха и перевозимой бетонной смеси, град;

$\tau$  – время транспортирования бетонной смеси, мин.

**Таблица 8.2 – Данные для расчета снижения температуры бетонной смеси при транспортировании**

Способ транспортирования	Марка транспортных средств	Объем перевозимой смеси, $\text{м}^3$	Град/град мин.
Автосамосвалы	ГАЗ, МА3-503,	1,4	0,0037
	ЗИЛ-555-ММЗ	3,2	0,0025
		2,0	0,003
Автобетоновозы с теплоизоляцией кузова	МА3-503	3,2	0,00022
Автобадьевозы	Бадея опрокидная прямоугольная	1,6	0,0003
Автобетоносмесители	СБ-69Б	2,6	0,0024
	СБ-99	4,0	0,0019
	СБ-159	5,0	0,0014

При перегрузках и погрузках бетонной смеси снижение температуры бетонной смеси на каждую операцию ( $\Delta t'_{TP.n}$ ) определяется по формуле:

$$\Delta t'_{TP.n} = t'_{TP.n} * \tau_2, \quad (8.3)$$

где:  $\Delta t'_{TP.n}$  – снижение температуры бетонной смеси при погрузках и перегрузках в течении 1 мин при перепаде температур бетонной смеси и окружающего воздуха в  $1^{\circ}\text{C}$ . В среднем  $\Delta t'_{TP.n}$  принимается равной 0,032град/град\*мин.

$\tau_2$  – время погрузки или перегрузки бетонной смеси, мин.

Величина снижения температуры бетонной смеси при укладке и уплотнении ее в опалубке определяется по формуле:

$$\Delta t_{\text{тр.у}} = \Delta t'_{\text{тр.у}} * \tau_3, \quad (8.4)$$

где:  $\Delta t'_{\text{тр.у}}$  – снижения температуры бетонной смеси при укладке в течение 1 мин. При перепаде температур бетонной смеси в опалубке, мин.

**Таблица 8.3 – Данные для расчета снижения температуры бетонной смеси при укладке и уплотнении ее.**

Град/град мин.	Толщина бетонируемой конструкции, мм
0,03	60
0,018	100
0,012	150
0,009	200
0,007	300
0,005	400
0,004	500
0,003	700

При подаче бетонной смеси с места разгрузки в опалубку краном снижение температуры бетонной смеси определяется по формуле:

$$\Delta t_{\text{тp.к}} = 0,0022 * H, \quad (8.5)$$

где: H – высота подъема крюка крана при подаче бетонной смеси, м.

## **8.5. Безобогревные методы бетонирования.**

### **8.5.1. Метод термоса**

Бетонную смесь с температурой 25–45°С укладывают в утепленную опалубку, после чего защищают открытые поверхности бетона от охлаждения. За счет тепла, внесенного в бетонную смесь при его приготовлении, и тепла, выделяемого в процессе гидратации цемента (явление экзотермии), бетон набирает заданную прочность до момента, когда температура в какой-либо части забетонированной конструкции снизится от начальной температуры после укладки до конечной, когда прекращаются процессы твердения бетона.

Чем массивнее конструкция и, следовательно, чем меньше относительная площадь её охлаждаемых поверхностей, тем медленнее будет происходить остывание конструкции и тем более эффективен метод термоса.

Степень массивности бетонной или железобетонной конструкции характеризуется модулем поверхности ( $M_n$ ), который представляет собою отношение суммарной поверхности конструкции ( $\Sigma F$ ) к её объёму ( $V$ ):

$$M_n = \frac{\Sigma F}{V}, \quad (8.5a)$$

Для линейных конструкций (колонн, балок и т.п.) модуль поверхности определяется отношением периметра к площади поперечного сечения.

Метод термоса эффективен для конструкций с модулем поверхности до 6 при укладке смесей на портландцементях и с модулем поверхности до 10 - на

глиноземистом и быстро твердеющем портландцементе. Эффективность применения метода термоса зависит также от величины экзотермии, т.е. удельного тепловыделения цемента (6...17 кДж/г).

При проектировании бетонных работ с выдерживанием бетона по методу термоса выполняют теплотехнический расчет. Считают, что суммарное количество тепла в бетоне должно быть равно теплотерям конструкции при её остывании до 0°C в течение некоторого времени ( $\tau$ ). За рассматриваемый промежуток времени бетон должен иметь положительную температуру и набрать проектную прочность. Этому условно соответствует формула теплового баланса, предложенная Б.Г.Скрамтаевым:

$$3,6 * \tau M_{\text{п}} * (t_{\text{б.ср}} - t_{\text{н.в}}) * K = C_{\text{б}} * \rho_{\text{б}} * (t_{\text{б.н}} - t_{\text{б.к}}) + Ц * Э, \quad (8.6)$$

где  $C_{\text{б}}$  - удельная теплоемкость бетонной смеси принимаемая равной 1,05 кДж/кг.°С;

$\rho_{\text{б}}$  - средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

Ц - содержание цемента в 1 м<sup>3</sup> бетона, кг;

Э - тепловыделение 1 кг цемента при твердении бетона за время остывания  $\tau$ , кДж/кг (табл. 8. 5);

$t_{\text{н.в.}}$  - температура наружного воздуха (принимается как средняя за время остывания бетона по данным метеорологических прогнозов),°С;

$t_{\text{б.к.}}$  - температура бетона к концу остывания конструкции (0... + 5°C);  $t_{\text{б.н.}}$  - начальная температура бетонной смеси после укладки и уплотнения её в опалубке, °С;

3,6 - переходной коэффициент при переходе измерения температуры с °К на °С;

$t_{\text{б.ср.}}$  - средняя температура бетона за период остывания, °С;

$$t_{\text{б.ср.}} = \frac{t_{\text{б.н}} - t_{\text{б.к}}}{1,03 + 0,181 * M_{\text{п}} + 0,006 * (t_{\text{б.н}} - t_{\text{б.к}})} \quad (8.7)$$

или приближенно может быть принята равной  $(t_{\text{б.н}}+5)/2$  при  $M_{\text{п}} \leq 4$ ;  $t_{\text{б.н.}}/2$  при  $M_{\text{п}}=5..8$ ;  $t_{\text{б.н.}}/3$  при  $M_{\text{п}} = 9... 12$ .

Коэффициент теплопередачи опалубки, утепленной опалубки или неопалубленных поверхностей ( K, табл. 8.6 и 8.7) определяется по формуле:

$$K = \frac{1}{\alpha + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}; \quad (8.8)$$

где:  $\delta_i$  – толщина каждого слоя ограждения, м,

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала каждого слоя ограждения, Вт/м<sup>2</sup> 0С,

$\alpha$  - коэффициент теплопередачи у наружной поверхности ограждения, Вт/м<sup>2</sup> 0С, (таблица 8.4)

**Таблица 8.4.**

Скорость ветра, м/с	0	5	10	15	20
Значение $\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> 0С	3,5	21,5	33,2	43,0	52,5

**Таблица 8.5 – Тепловыделение цемента, кДж/кг.**

Вид и марка цемента	Температура 0С	Продолжительность твердения, сут:							
		0,25	0,5	1	2	3	7	14	28
Портландцемент М400	5	-	-	29	63	109	188	209	251
	10	12	25	50	105	146	209	251	293
	20	42	67	105	167	209	272	314	335
	40	84	134	188	230	272	314	335	-
	60	130	188	230	272	314	335	-	-
Портландцемент М500 и М600	5	12	25	42	89	105	188	230	272
	10	25	42	63	125	167	251	293	314
	20	42	84	125	188	251	293	335	377
	40	105	167	209	272	293	356	377	-
	60	188	230	272	314	356	372	-	-
Шлакопортландцемент М300	5	-	12	25	42	63	126	167	188
	10	-	25	33	63	105	167	209	203
	20	-	33	62	125	147	209	251	272
	40	42	75	117	167	209	251	272	-
	60	63	105	147	207	230	272	-	-

**Таблица 8.6 – Коэффициент теплопередачи опалубки и укрытий неопалубленных поверхностей, Вт/м<sup>2</sup> 0С**

Конструкция ограждения, толщина материала	Скорость ветра, м/с				
	0	3	5	10	15
Доска толщиной 25 мм	2,44	4,55	5,22	5,61	5,97
Доска толщиной 40 мм	2,01	3,10	3,60	3,78	3,94
Сталь до 6 мм (или водостойкая фанера до 12 мм) + минераловатные плиты 50мм + фанера толщиной 4 мм(или кровельная сталь)	1,00	1,18	1,28	1,31	1,33
Рубероид+опилки 100 мм	0,74	0,85	0,89	0,90	0,90
Рубероид + минеральная вата 50 мм	1,01	1,20	1,30	1,33	1,35

**Таблица 8.7 – Расчетные характеристики материалов.**

Вид материала	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Расчетный к-т теплопроводности λ, Вт/м <sup>2</sup> 0С	Удельная теплоемкость в сухом состоянии С <sub>0</sub> , кДж/кг0С
Бетон тяжелый*	2400	1,86	0,84
Аглопоритобетон (шлакобетон)	1800	0,93	0,84
Керамзитобетон (конструкционный)	1600	0,75	0,84
Керамзитобетон(теплоизоляционный)	600	0,23	0,84
Железобетон	2500	2,03	0,84
Сталь	7800	58	0,48
Вата минеральная и изделия из нее	75-700	0,049-0,06	0,76
Дерево	500-700	0,17-0,23	2,52
Фанера	600	0,17	2,52
Опилки	250	0,24	2,50
Пенопласт	77	0,044	1,26
Рубероид	600	0,17	1,47
Плиты древесноволокнистые и древесностружечные	1000	0,29	2,1

\*. для всех видов бетонов принимать С<sub>0</sub>=1,05 кДж/кг0С как для важнейшего материала.

При выполнении теплотехнического расчета решаются две задачи (прямая и обратная). Первую решают по известным  $K, t_{б, ср}$  и остальным параметрам, пользуясь формулой (8.6), определяют время остывания (твердения)  $\tau$ , а затем устанавливают величину критической прочности которую наберет бетон к моменту остывания до  $0^{\circ}\text{C}$  (рис 8.1). Вторая задача решается при заданной критической прочности. При установлении времени остывания  $\tau$  (рис 8.1) требуется определить  $K$  и подобрать толщину опалубки и теплоизоляционных слоев.

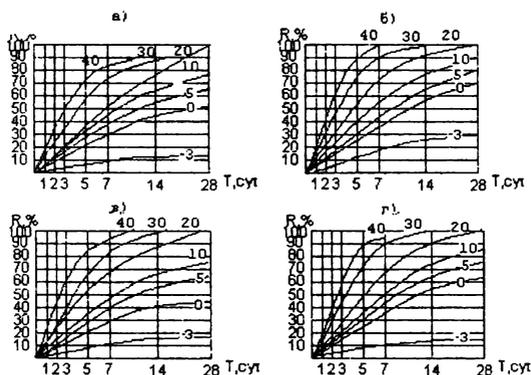
Выдерживание бетона методом термоса является наиболее экономичным и простым, так как не требует устройств по обогреву бетона в конструкции, их обслуживание и расхода электроэнергии, пара и топлива.

Опалубку снимают с разрешения технического персонала строительства до ее примерзания к остывшему бетону.

**Таблица 8.8 – Коэффициент увеличения прочности бетона с добавками при температуре  $+10...20^{\circ}\text{C}$ .**

Возраст бетона, сут.	Коэффициент увеличения прочности бетона на:						
	портландцементе			шлакопортландцементе			
	CaCl <sub>2</sub>	NaCl Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub> Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub> Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
2	1,65	1,40	1,20	2,00	1,55	1,40	2,10
3	1,50	1,30	1,15	1,70	1,45	1,30	1,75
5	1,30	1,20	1,10	1,40	1,30	1,20	1,45
7	1,20	1,10	1,05	1,25	1,20	1,10	1,30
28	1,10	1,05	1,00	1,15	1,10	1,05	1,20

*Примечание: приведенные в таблице коэффициенты должны быть увеличены на 10% при температуре от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+5^{\circ}\text{C}$  и на 5% при температуре от  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+10^{\circ}\text{C}$ .*



**Рисунок 8.1 – Нарастание прочности бетона при температурах от  $-3^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ :**

а – бетон В15 на портландцементе М300; б – бетон В25 на портландцементе М500; в – бетон В15...30 на шлакопортландцементе М400; г – легкий бетон В15 на портландцементе М400.

Химические добавки являются не только ускорителями твердения бетона, но и снижают температуру замерзания воды, увеличивая тем самым продолжительность твердения бетона. При введении добавок - ускорителей твердения совместно с методом термоса по таблице 8.8 определяется коэффициент увеличения прочности бетона. Следует однако учитывать, что увеличение количества добавки соляной кислоты и ее солей вызывает коррозию арматуры, а большое количество поташа ( $K_2CO_3$ ) резко снижает удобоукладываемость бетонной смеси. Поэтому количество добавок-ускорителей твердения бетона не должно превышать:  $NaCl$  и  $CaCl_2$  в бетоне железобетонных конструкций – 2%, а в бетоне неармированных конструкций – 3% от массы цемента;  $Na_2SO_4$  - не более 2%;  $Ca(NO_3)_2$  и  $NaNO_3$  не более 4%.

### 8.5.2. Холодные бетоны

В отличие от бетонов с противоморозными добавками в сочетании с методом термоса холодные бетоны готовят с увеличенным количеством добавок без подогрева заполнителей и воды.

Добавки, введенные в большом количестве (до 10-15% от массы цемента), резко понижают точку замерзания воды в бетонной смеси, вследствие чего процессы гидратации цемента прекращаются только при очень низких температурах наружного воздуха (при  $-25^\circ C$  и ниже).

В таблице 6.9 приведен расход добавок в зависимости от температур твердения холодного бетона.

Бетонная смесь с повышенным содержанием добавок солей может иметь при выходе из бетоносмесителя отрицательную температуру. Для приготовления смеси можно применять холодные материалы, не содержащие наледи, снега и смерзшихся комков.

Бетонная смесь для холодного бетона может иметь на выходе из бетоносмесителей и положительную температуру. В этом случае во избежание чрезмерно быстрого схватывания смеси из-за большого количества добавок приготовление смеси ведут отдельным способом. Сначала перемешивают цемент, песок и щебень с 70% воды затворения и лишь после этого добавляют остальную воду с растворенными в ней солями требуемой концентрации. В момент укладки температура бетонной смеси должна превышать температуру замерзания раствора затворения не менее, чем на  $5^\circ C$ .

Холодную смесь, приготовленную на неподогретой воде, укладывают в неутепленную опалубку и поверхность свежеложенного бетона покрывают утеплителем для предотвращения вымораживания воды. Под укрытием бетон выдерживают первые 15 суток, систематически контролируя температуру бетона. Однако холодный бетон набирает прочность при отрицательных температурах значительно медленнее, чем бетон нормального твердения без добавок. Так бетон на портландцементе через 7 сут имеет 20-25% проектной прочности, а к 28-дневному сроку он набирает всего 40-50%. Проектной прочности он достигает только через 170-180 суток. Поэтому холодные бетоны применяют для неармированных конструкций: подготовок под полы и фундаменты, дорожных покрытий и других конструкций, когда не требуется обеспечивать проектную прочность в ранние сроки. Нельзя применять холодное бетонирование для конструкций, работающих под динамическими нагрузками, а также находящихся в агрессивных условиях или расположенных в зоне переменного увлажнения.

**Таблица 8.9 – Количество добавок в зависимости от температуры твердения бетона**

Температура твердения бетона, °С	Количество безводной соли, % от массы цемента		
	NaCl+CaCl <sub>2</sub>	NaNO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
-5	3,0	4-6	5-6
-10	3,5+1,5	6-8	6-8
-15	3,0+4,5	8-10	8-10
-20	-	-	10-12
-25	-	-	12-15

### 8.5.3. Бетонирование в тепляках

Необходимую для твердения бетона тепловлажностную среду можно обеспечить в тепляках и шатрах. Шатры, в отличие от тепляков, применяют при возведении высотных сооружений, перемещая их вверх по мере бетонирования. Основным условием является создание над бетонлируемой конструкцией замкнутого пространства с достаточной термоизоляцией его от внешней среды.

Тепляки подразделяют на объемные и плоские. Объемный тепляк представляет собой временное помещение, внутри которого размещают бетонлируемую конструкцию. Плоские тепляки оборудуются съемной паровой рубашкой-коробом и применяются при бетонировании небольших по размеру конструкций: небольших фундаментов, плит, колонн и т.п.

В тепляках, устраиваемых из водостойкой фанеры, брезента или полимерной пленки, поддерживают постоянную положительную температуру и влажность с помощью, например, калориферов или других источников тепла. Экономичны легкие воздухоопертые тепляки надувной конструкции из нейлоновой или капроновой ткани, покрытой виниловым пластиком. Тепляк надувают и поддерживают в нем избыточное давление около 0,005 Мн/м<sup>2</sup> и требуемую температуру. Солнечная радиация, воздействуя на пленку, значительно повышает температуру в тепляке, а через прозрачную пленку в него проникает достаточно дневного света.

Для бетонирования высотных сооружений (элеваторов, дымовых труб и т.п.) используются шатры, устанавливаемые над рабочим полом и на наружных подмостях скользящей или подземно-переставной опалубки.

Для обогрева и термообработки бетона в таких тепляках-шатрах используют газоздушные или электрические нагревательные системы. Воздухонаполненные сооружения-тепляки делятся на три основных типа:

- воздухоопертые оболочки, поддерживаемые небольшим избыточным давлением воздуха, поступающего внутрь объема от небольшого вентилятора;
- воздуходувные конструкции с замкнутыми элементами, в которые нагнетается воздух. Элементы образуют несущий каркас, поддерживающий оболочку покрытия;
- комбинированные пневматические конструкции, сочетающие воздухонаполненные элементы с каркасами, изготовленными из прочных материалов (дерева, металла).

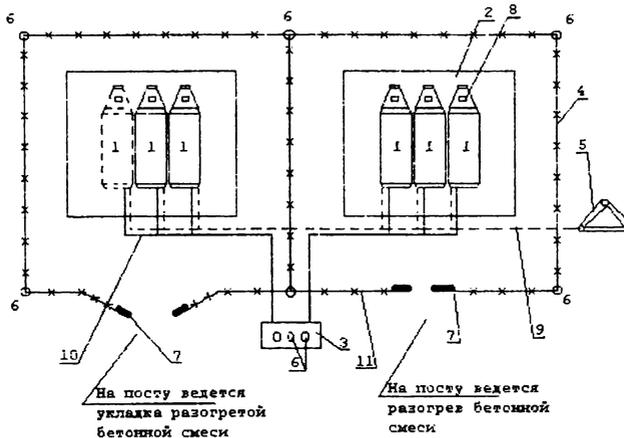
#### 8.5.4. Предварительный электроразогрев бетонных смесей

Сущность бетонирования с предварительным электроразогревом бетонной смеси (горячий термос) заключается в быстром (5-10 мин) подъеме её температуры до 40-90°C перед укладкой путем пропускания электрического тока напряжением 220-380 В., укладке её в горячем состоянии в утепленную опалубку и в последующим твердением бетона до приобретения бетоном требуемой прочности в процессе его медленного остывания.

Применение предварительного электроразогрева бетонных смесей, как правило, позволяет исключить подогрев заполнителей и ограничиться только их оттаиванием; увеличить допускаемую продолжительность транспортирования бетонной смеси на морозе; обеспечить приобретение бетоном высокого процента относительной прочности в сравнительно короткие сроки без прогрева его в конструкции. Применение "горячего термоса" позволяет также упростить работы и снизить их стоимость, а также способствует повышению качества бетона. При уплотнении вибраторами бетонной смеси, подогретой перед укладкой до 70-90.°С (табл.6.10) одновременно происходит ее остывание и сжатие; водяные пары и воздух, находящиеся в бетоне, уменьшается в объеме, что способствует повышению плотности и морозостойкости бетона.

Бетонную смесь подвижностью 6-8 см на бетонном заводе подогревают до +10.°С, что гарантирует её от чрезмерного охлаждения и замерзания при транспортировании.

На объекте вблизи места бетонирования оборудуют пост предварительного электроразогрева смеси (рис.8.2).



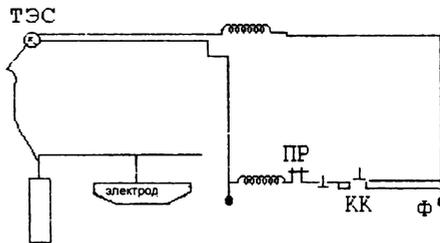
**Рисунок 8.2 – Пост предварительного электроразогрева бетонной смеси в бадьях**

- 1 – бадьи; 2 – деревянный настил (боек); 3 – щит управления; 4 – ограждение;
- 5 – заземление; 6 – светильники; 7 – концевые выключатели; 8 – вибратор;
- 9 – контур заземления; 10 – токопроводящий кабель; 11 – ворота.

**Таблица 8.10 – Температура разогрева бетонных смесей**

Вид цемента	Максимальная температура для (°C) конструкции с модулем поверхности	
	до 10	свыше 10
Шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент	90	80
Портландцемент	80	70
Быстротвердеющий портландцемент	75	70

Бетонную смесь из транспортных средств разгружают в электроразогреваемые бункера или бады, оборудованные пластинчатыми электродами. Electroды в бадье закрепляются через изоляторы и имеют контактные шпильки для включения в электросеть. Емкость бадей 0,5-2,0м<sup>3</sup>. Количество бадей на объекте подбирают исходя из интенсивности потока бетонной смеси, вида транспортных средств, типа крана и обеспечения непрерывности технологического процесса бетонирования конструкций. Контроль за электроразогревом ведут по установленным в бетонную смесь термометров или термодатчиков. Для автоматизации процессов предварительного прогрева бетона и регистрации температуры в тресте Промстрой Главлипецстроя предложили использовать термоэлектрический сигнализатор типа ТЭС. (см. рис.). Замер температуры бетона можно производить на любой заданной глубине.



Мощность, необходимая для разогрева смеси, определяется техническим расчетом по формуле:

$$P = 1,2 * \frac{C_{б.с.} * \rho_{б.с.} * V_{б.с.} * \rho}{860} (кВт), \tag{8.9}$$

- где:  $C_{б.с.}$  – удельная теплоемкость бетонной смеси, принимаемая равной 1,05кДж/кг °C;
- $\rho_{б.с.}$  – средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup> ;
- $V_{б.с.}$  – объем бетонной смеси в бункере (бадье) или кузова автосамосвала, м<sup>3</sup>;
- 1,2 – коэффициент, учитывающий теплопотери смеси в процессе разогрева;

$\rho$  – скорость разогрева, град/ч, вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{t_k - t_n}{60 * \tau}, \quad (8.10)$$

где:  $t_k$  – конечная температура разогрева смеси, град;

$t_n$  – начальная температура смеси перед разогревом, град;

$\tau$  - продолжительность разогрева (5 – 15 мин).

Электрическая мощность при разогреве смеси равна:

$$P_{\text{э}} = \frac{V^2 * V_{\text{б.с.}}}{10 * \rho_{\text{мин}} * b^2}, \quad (8.11)$$

Мощность трансформатора для электроразогрева смеси вычисляется по формуле:

$$P_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{э}}}{\eta * \cos\varphi * K_{\text{к.п}}}, \quad (8.12)$$

где:  $V$  – напряжение на электродах, В;

$\eta$  - коэффициент полезного действия;

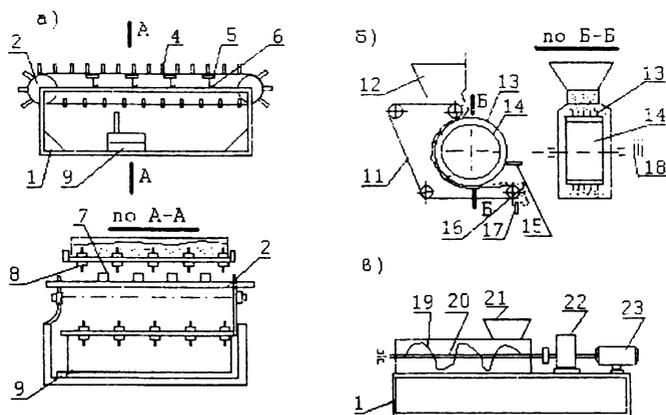
$\rho_{\text{мин}}$  – минимальное удельное электрическое сопротивление смеси в процессе разогрева, Ом\*см;

$K_{\text{к.п}}$  – коэффициент кратковременной перегрузки трансформатора, равный 1,3;

$b$  - расстояние между электродами в бункере (бадье).

По величине  $P_{\text{тр}}$  – подбирается трансформатор для электроразогрева бетонной смеси.

При подаче бетонной смеси из транспортных средств непосредственно в опалубку электроразогрев ее ведут непосредственно в автосамосвалах. Для этого на объекте оборудуют постразогрева – на огражденной горизонтальной площадке для выезда автосамосвала со смесью размещают тельфер, блок опускаемых в кузов электродов и электрощит. Автосамосвал со смесью заезжает на площадку и кузов его заземляют. С помощью тельфера в кузов со смесью опускают блок электродов и на них подают напряжение и нагревают до требуемой температуры. Электроразогрев бетонной смеси на строительной площадке также может быть осуществлен на специальных установках непрерывного действия (рис.8.4).



**Рисунок 8.4 – Принципиальная схема установок непрерывного действия для предварительного электроразогрева бетонной смеси.**

а – конвейерно-ленточного типа с поперечным расположением электродов;

б – барабанно-ленточного типа; в – шнекового типа.

1 – рама; 2 – барабан; 3 – лента конвейера; 4 – система электродов;

5 – устройство контактного подключения к электросети; 6 – изолятор;

7 – токо-проводящая шина; 8 – токосъемник; 9 – вибромолоток для очистки электродов;

10 – бетонная смесь; 11 – конвейерная лента; 12 – приемный бункер;

13 – система кольцевых электродов; 14 – вращающийся барабан;

15 – отсекаль-скребок; 16 – бетонная смесь; 17 – устройство для очистки транспортной ленты;

18 – скользящие контакты; 19 – шнек; 20 – труба-желоб;

21 – приемный бункер; 22 – редуктор; 23 – электродвигатель.

## **8.6. Искусственный прогрев монолитных конструкций.**

### **8.6.1 Электропрогрев бетона**

Одним из наиболее эффективных и экономичных методов интенсификации твердения бетона в зимних условиях является его электротермообработка теплом, получаемым от превращения электрической энергии в тепловую.

Для подведения напряжения используют электроды различной конструкции и схем их расположения, между которыми протекает ток. Преобразование электрической энергии в тепловую происходит непосредственно внутри бетона. Электропрогрев рекомендуется при бетонировании конструкций с большими поверхностями охлаждения и модулем поверхности от 8 до 20, когда метод термоса оказывается неэффективным, а также при сжатых сроках строительства.

Бетонные смеси, которые твердеют при электропрогреве, готовят с возможно малым В/Ц на алитовых портландцементях, содержащих не более 10% трехкальциевого алюмината, или на шлакопортландцементях. Если этого требуют сроки строительства, смеси готовят на быстротвердеющих цементях, либо вводят в них добавки-ускорители твердения.

Бетонную смесь укладывают в опалубку и после предварительного выдерживания от одного до двух часов включают в электрическую сеть. Электрический ток, проходя через бетон, выделяет тепло в количестве:

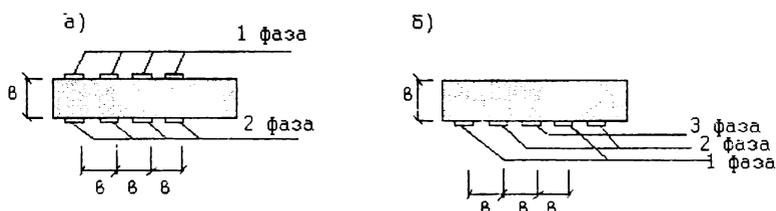
$$Q = 3528 * I^2 * R * \tau, \text{ Дж}$$

где:  $I$  - сила тока, А;

$R$  - омическое сопротивление прогреваемого элемента, Ом;

$\tau$  - время, ч.

Для подведения напряжения используют электроды различной конструкции и схем расположения их между которыми протекает ток: пластинчатые, полосовые, стержневые, струнные и т.д. В зависимости от расположения электродов и места прохождения тока прогрев подразделяют на сквозной и периферийный (рис. 8.5)



**Рисунок 8.5 – Схема расположения полосовых электродов.**

а - при сквозном прогреве, б - при периферийном прогреве.

При сквозном прогреве ток протекает через массу бетона и тепловая энергия выделяется в теле конструкции. В случае периферийного прогрева ток протекает через бетон между электродами, установленными по наружной поверхности конструкции. Бетон прогревается тепло передачей тепловой энергии от периферии внутрь конструкции.

Способ сквозного прогрева применяют для ускорения твердения бетонных и малоармированных железобетонных конструкций, так как арматура, являясь хорошим проводником, значительно искажает линии тока, создавая неравномерность температурных полей.

Периферийный же способ применяют для прогрева конструкций с одной стороны при толщине их до 20 см и для прогрева конструкций толщиной более 20 см с двух сторон.

Полосовые или пластинчатые электроды изготавливают из кровельной или листовой стали шириной 20-50 мм и закрепляются на внутренней поверхности опалубки.

Удельная электрическая мощность при сквозном прогреве,  $\text{кВт/м}^3$ , составляет:

$$P = \frac{V^3 * 10^{-3}}{\rho * B^2 * \left( 1 + \frac{a * b}{\pi * B} * \ln \frac{b}{2a} \right)}, \quad (8.13)$$

при периферийном прогреве:

$$P = \frac{1.57 * V^2 * 10^{-3}}{\rho * b * B * \left( a * \ln \frac{4B}{\pi * a} + \frac{\pi * b}{2B} \right)}, \quad (8.14)$$

где: a - ширина электрода, мм;

b - расстояние между электродами;

$\rho$  - расчетное удельное сопротивление бетона, Ом\*м;

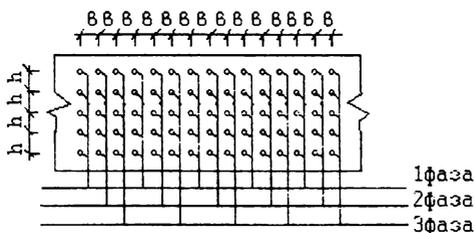
V - напряжение;

B - толщина прогреваемой конструкции.

Удельное электрическое сопротивление бетона  $\rho$  меняется в процессе твердения и прогрева, поэтому напряжение изменяют ступенями с помощью понизительных трансформаторов для сохранения необходимых токовых нагрузок и поддержания режимов твердения. Удельное электрическое сопротивление тяжелых бетонов равно примерно 5 Ом\*м, легких - 8 Ом\*м. В начале твердения с увеличением содержания электролитов в жидкой фазе сопротивление снижается, затем при химическом связывании и частичном испарении воды оно начинает интенсивно возрастать.

Величину начального и минимального удельного сопротивления бетона определяют лабораторным путем. Расчетное сопротивление принимают как среднюю величину  $\rho_{нач}$  и  $\rho_{мин}$ . Расчетная величина  $\rho$  равна примерно  $0,85\rho_{нач}$  у тяжелых и  $0,8\rho_{нач}$  у легких бетонов.

Стержневые электроды представляют собой стальные прутки диаметром 5-8 мм, забиваемые в открытые поверхности бетона на требуемую глубину после его укладки или устанавливаемые до укладки в отверстия, просверливаемые в опалубке. Их устанавливают на расстоянии до 20 см при напряжении менее 65 В и на расстоянии 40 см при более высоком напряжении (рис.8.6).



**Рисунок 8.6 – Схема расположения стержневых электродов.**

Стержневые электроды применяют при прогреве конструкций значительной толщины, сложной конфигурации, а также значительной степени армирования.

Для увеличения равномерности температурного поля отдельные стержни объединяют в плоские электродные группы. Удельная электрическая мощность, кВт/м<sup>3</sup>, составит:

$$P = \frac{3,14 * I^2 * 10^{-3}}{\rho * b * h * \left( c * \ln\left(\frac{h}{\pi * c}\right) + \pi * \frac{b}{h} \right)}, \quad (8.15)$$

где:  $c$  – коэффициент, равный 1,5 при трехфазном токе и  $c=2$  при однофазном;

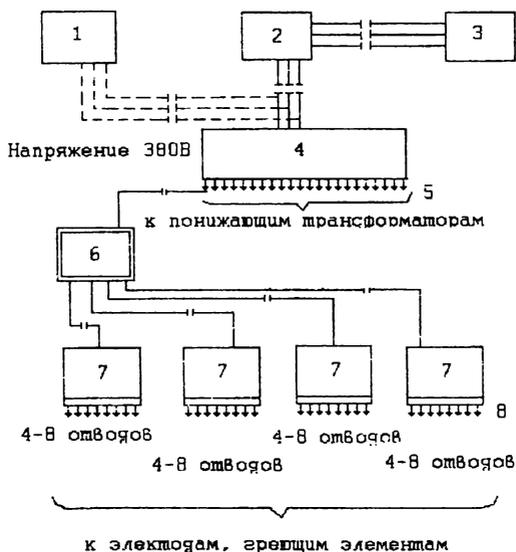
$h$  – расстояние между электродами в группе;

$b$  – расстояние между группами электродов.

Плавающие электроды изготавливают из стали диаметром 6-12 мм, втапливают в поверхность уложенного бетона на глубину 3-4 см.

Струнные электроды применяют для прогрева колонн, балок, прогонов и т.п. Их изготавливают из круглой стали диаметром 6-12 мм, устанавливают перед бетонированием параллельно оси конструкции звеньями длиной 2,5-3,5 м. Выпущенные загнутые концы струн служат для подключения к сети прогрева.

Оборудование для электропрогрева состоит из трехфазного трансформатора (однофазные соединяют в трехфазные группы), распределительного устройства с главным и групповыми щитами и софитов. Мощность, трехфазного трансформатора 50-60 кВт (напряжение на вторичной обмотке 106,5; 87,5; 61,5; 51 В) обеспечивает при модуле поверхности  $M_{\Pi} = 10$  суточный поток бетона 11-12,5 м<sup>3</sup>.

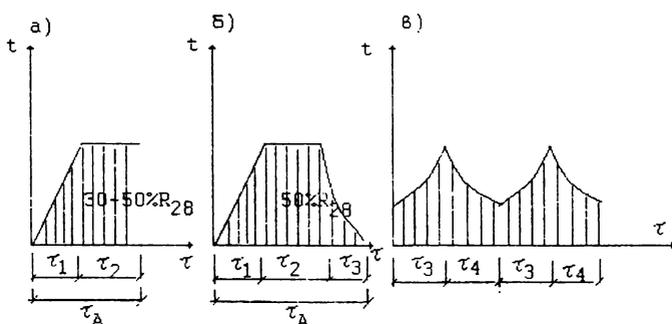


**Рис.8.7 – Схема расположения электрооборудования на захватке при бетонировании конструкций способом электротермообработки.**

1 - трансформатор, 2 - трансформаторная подстанция, 3 - распределительная подстанция, 4 - силовой распределительный шкаф; 5 - кабели, 6 - понижающий трансформатор (ТМОА-50), 7 - распределительные коробки (софиты), на 4-8 отводов; 8 - провода.

Сечение проводов и кабелей (рис.6.7) подбирают из расчета подводимой мощности (нагрузки). Прогрев начинают при температуре бетона не выше 5-10°C током напряжением 50-60 В, увеличивая его ступенями по мере твердения бетона до 106 В.

Существенное значение имеет правильный режим прогрева. Он состоит из трех периодов: разогрева  $\tau_1$ , изотермического выдерживания при заданной проектом температуре  $\tau_2$ , и остывания  $\tau_3$  (рис.8.8). Общая продолжительность электропрогрева -  $\tau_4$ . Для конструкций с модулем поверхности от 6 до 15 проектная прочность обеспечивается к концу остывания. Конструкции с модулем более 15 до достижения заданной прочности выдерживают под напряжением (изотермический период прогрева).



**Рисунок 8.8 – Температурные режимы электропрогрева бетона:**

- а - без учета нарастания прочности бетона при его остывании;
- б - с учетом нарастания прочности бетона при остывании;
- в - при импульсной подаче напряжения.

Температуру разогрева при выдерживании массивных конструкций повышают со скоростью 8°C в 1 ч, тонкостенных и каркасных - 15°C в 1 ч. С целью сокращения сроков выдерживания изотермический прогрев надо вести на максимально допустимых для данной конструкции и бетона температурах (табл. 8.11).

Расчет электротермообработки бетона заключается в определении (теплотехническом расчете) требуемой мощности на нагрев бетона, опалубки и на восполнение потерь тепла в окружающую среду, с учетом тепловыделения цемента, и в последующем определении электрических параметров (напряжения, силы тока, типа и схемы размещения электродов), которые обеспечивает выделение тепла соответственно величине требуемой мощности.

Требуемая удельная мощность  $P_{\Pi}$  необходимая по теплотехническому расчету для нагревания 1м<sup>3</sup> бетона до заданной температуры и мощность  $P_{\text{И}}$  для изотермического прогрева может быть принята по таблицам 8.11 и 8.12.

а также подсчитана по следующим формулам:

$$P_n = P_1 + P_2 + P_3 - P_4 = \frac{C_{б.с.} * \rho_б * P}{860} + \frac{C_0 * \rho_0 * \delta * M}{860} * \frac{P}{2} + \frac{K * M (t_U + t_{б.н.} - \alpha_{н.в.})}{860 * 2} - 0,8, \text{ кВт / м}^3, \quad (8.16)$$

$$P_U = 1.16 * 10^{-3} * K * M * (t_U - t_{н.в.}), \quad (8.17)$$

где:  $P_1, P_2, P_3$  - соответственно мощности для нагревания бетона, опалубки, восполнения теплопотерь в окружающую среду;

$P_4 = 0,8 \text{ кВт/м}^3$  - среднее значение мощности, эквивалентное экзотермическому теплу;

$C_0$  - удельная теплоемкость материала опалубки,  $\text{кДж/кг}^\circ\text{C}$ ;

$P$  - скорость подъема температуры бетона,  $\text{град/ч}$ ;

$\gamma_0$  - плотность материала опалубки,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\delta$  - толщина стенок опалубки, м;

$K$  - коэффициент теплопередачи опалубке,  $\text{Вт/м}^2 * \text{ч} * \text{C}$ ;

$t_U$  - температура изотермического прогрева бетона,  $^\circ\text{C}$ .

$t_{н.в.}$  - температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

Удельный расход электроэнергии для прогрева бетона определяется по формуле:

$$W = P_n * T_n + P_U * T_U; T_n = \frac{t_U - t_{б.н.}}{P}, \quad (8.18)$$

где  $T_n, T_U$  - соответственно продолжительность подъема температуры и изотермического прогрева, ч.

Силу тока при электропрогреве бетона следует определять по формуле:

$$I = 1000 * P_n * K_c / \sqrt{V}, \quad (8.19)$$

где  $I$  - сила тока в расчете на  $1 \text{ м}^3$  бетона или на  $1 \text{ м}^2$  поверхности при периферийном прогреве,  $\text{А/м}^3$  и  $\text{А/м}^2$ ;

$K_c = 1,2$  - коэффициент, учитывающий снижение удельного электрического сопротивления бетона от расчетной до минимальной величины;

$V$  - напряжение на электродах, В.

Для питания электропрогрева и других способов электротермообработки применяются понижающие трансформаторы (табл.8.14).

Импульсный (прерывистый) способ подачи напряжения (рис.6.8.в) на электроды позволяет осуществить регулирование температуры бетона при отсутствии понижающих трансформаторов с нужной ступенью вторичного напряжения, обеспечивая при этом точное выдерживание заданного температурного режима электропрогрева. Групповой импульсный прогрев позволяет снизить мощность, необходимую для прогрева, в четыре раза и приблизить её к мощности при обычном способе прогрева с непрерывной подачей напряжения на электроды.

**Таблица 8.11 – Удельная мощность, необходимая в период подъема температуры бетона**

Температура воздуха, °С	Скорость подъема температуры, °С/ч	Удельная мощность, кВт/м <sup>3</sup> , при модуле поверхности:											
		6			10			15			20		
		Температура изотермического прогрева, °С											
		40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
-10	5	3,5	3,7	3,8	4	4,3	4,6	4,7	5,1	5,6	5,4	5,9	6,5
	10	7,4	7,5	7,6	8	8,3	8,6	8,9	9,3	9,7	9,7	9,8	10,9
	15	11,0	11,2	11,4	12	12,2	12,5	13,0	13,5	13,9	11,2	14,7	15,3
-20	5	3,7	3,8	4,0	4,3	4,6	4,9	5,1	5,5	6,0	5,9	6,5	7,1
	10	7,4	7,6	7,8	8,3	8,6	8,7	9,3	9,7	10,1	10,3	10,9	11,5
	15	11,2	11,4	11,7	12,2	12,5	12,8	13,5	13,9	14,3	14,7	15,3	15,9
-30	5	3,8	4,0	4,2	4,6	4,9	5,1	5,5	6,0	6,4	6,5	7,0	7,6
	10	7,6	7,8	7,9	8,6	8,8	9,1	9,7	10,1	10,6	10,9	11,1	12,0

**Таблица 8.12 – Удельная мощность, необходимая в период изотермического прогрева бетона**

Температура воздуха, °С	Удельная мощность, кВт/м <sup>3</sup> , при модуле поверхности:											
	6			10			15			20		
	Температура изотермического прогрева, °С											
	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
-10	0,8	1,1	1,4	1,4	1,9	2,4	2,0	2,3	3,6	2,8	3,7	4,8
-20	1,0	1,3	1,6	1,7	2,1	2,7	2,4	3,2	4,0	3,2	4,3	5,3
-30	1,1	1,4	1,8	2,0	2,4	2,9	2,8	3,6	4,4	3,7	4,8	5,9

Примечание: для опалубки из досок толщиной 25 мм и укрытия неопалубленной поверхности с аналогичным коэффициентом теплопередачи значение удельной мощности следует принимать в 1,5 раза больше указанных в таблице: при скорости подъема температуры 5 °С в час примерно в 1,15 раза; при скорости подъема температуры 15 °С в час примерно в 1,08 раза.

- Таблица составлена для скорости ветра, равной 0 м/с.
- Данные таблицы приведены для деревянной опалубки толщиной 40 мм и укрытия неопалубленной поверхности с аналогичным коэффициентом теплопередачи.

**Таблица 8.13 – Наибольшие допустимые температуры бетона при прогреве**

Вид цемента	Максимальные температуры °С, для конструкций с модулем поверхности		
	6...9	10...15	16...20
Шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент	80	70	60
Портландцемент и быстротвердеющий портландцемент	70	65	55

**Таблица 8.14 – Основные параметры понижающих трансформаторов для электропрогрева**

Тип трансформатора	Мощность кВт	Напряжение, В		Сила тока, А		Масса, кг	Габарит, мм	Примечание
		первичное	вторичное	первичное	вторичное			
ТМОБ-63	63	380	49,60,	82,69	301,520	900	1150x x1200x x890	Масляный 3-хфазн
			70,85,					
			100,123					
ТМОА-50	50	380	49,60,	76,65	239,418	473	980x x930x x1232	Масляный 3-хфазн
			70,85,					
			103,121					
ТМО-50/70	50	380,220	106,5;	76,131	270,	890	1450x x1290x x890	Масляный 3-хфазн
			87,5;		320,			
			61,5;		470,			
			50,5		670			
ТСПК-20А	20	380,220	12,22,	-	120,160	-	775x	Масляный 3-хфазн
			48,62,		240,320		x775x	
			101		480		x740	

### 8.6.2. Обогрев бетона инфракрасными излучателями

Инфракрасные излучатели применяются для периферийного обогрева бетона тонкостенных конструкций с большим модулем поверхности, например, при бетонировании сооружений в скользящей опалубке. Источниками инфракрасного излучения служат металлические трубчатые излучатели (ТЭНы) и стержневые карборундовые излучатели, которые закрепляются на внутренней поверхности коробчатых или сферических отражателей. ТЭН состоит из металлической трубки диаметром 9-18 мм, внутри которой расположена нихромовая спираль, а пространство между спиралями и внутренними стенками трубки заполнено периклазом - кристаллической окисью магния. Мощность ТЭНов на 1 м длины колеблется от 0,6 до 1,2 кВт, а температура излучающих поверхностей - от 300 до 600°С. ТЭНы работают при напряжении 127, 220 и 380 В.

Карборундовые излучатели имеют мощность до 10 кВт·ч, а рабочая температура достигает 1300-1500°С.

Иногда для лучшего поглощения инфракрасного излучения поверхность бетона (опалубки) покрывают черным лаком этиноль. Температура на поверхности бетона не должна превышать 80-90°С.

Инфракрасный обогрев обеспечивает хорошее качество термообработки бетона. При использовании инвентарных излучателей не требуется дополнительно расходовать металл на электроды, расход электроэнергии ориентировочно составляет 120-200 кВт.ч/м.

### 8.6.3. Индукционный прогрев

Индукционный прогрев бетона основан на использовании магнитной составляющей переменного электромагнитного поля, при этом энергия магнитного поля преобразуется в тепловую в арматуре или стальной опалубке. Этот метод целесообразно применять для термообработки бетона сильно насыщенных арматурой монолитных и сборно-монолитных каркасных конструкций. Индукционный прогрев бетона заключается в том, что вокруг прогреваемой конструкции укладывают витки изолированного провода, по которому пропускают переменный ток. Для индуктора используют провода и шнур с медными и алюминиевыми жилами сечением 70-150 мм.

При расчете параметров индукционной системы определяют число витков  $N$  обмотки индуктора при заданном режиме термообработки и выбранном напряжении  $V_T$ , силу тока  $I$ , коэффициент мощности  $\cos\varphi$ , полную мощность системы  $V_T$ . Число витков индуктора определяют по формуле:

$$N = \frac{V_T}{(R_0 * H)}, \quad (8.20)$$

где  $R_0$  - сопротивление системы, Ом;

$H$  - напряженность магнитного поля, А/см;

$V_T$  - напряжение электрического тока, В.

Силу тока определяют из выражения:

$$I = \frac{H * h}{N}, \quad (8.21)$$

где:  $h$  – длина (высота) индуктора, см.

Коэффициент мощности системы определяют по формуле:

$$\cos\varphi = \frac{r_0}{R_0}, \quad (8.22)$$

где:  $r_0$  - активное сопротивление системы, Ом.

Полную мощность системы определяют по формуле:

$$P_c = \frac{P_{AC}}{\cos\varphi}, \quad (8.23)$$

где:  $P_{AC}$  - активная электрическая мощность индуктора, кВт.

По условиям безопасности индукционный прогрев смеси ведут на пониженном напряжении - от 36 до 12 В. При обеспечении надежной изоляции напряжение можно повысить до 220-380 В.

Для увеличения прочности бетона рекомендуется выдерживать его в течение первых 2...3 ч после укладки при минимальной положительной температуре (6-8°C). Для этого периодически включают индуктор на 5...10 мин в каждый час предварительного выдерживания.

Скорость подъема температуры бетона в зависимости от модуля поверхности, степени армирования и материал опалубки принимается в пределах 5-15°С.

Индукционный прогрев в отличие от других методов обеспечивает равномерность прогрева по сечению и длине конструкции позволяет вести без дополнительных источников тепла предварительный отогрев арматуры, металлической опалубки и ранее уложенного бетона, достаточно просто вести прогрев насыщенных арматурой каркасных конструкций. Примерный расход электроэнергии при индукционном прогреве 120-150 кВт.ч/м<sup>3</sup>.

#### 8.6.4. Применение термоактивной опалубки

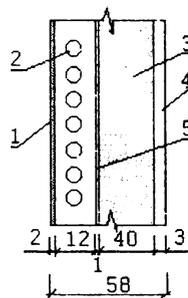
Сущность способа заключается в передаче тепла в бетон из утепленной и оборудованной электронагревателями опалубки через разделительную стенку (палубу щита, рис.8.9). Тепло в бетоне распространяется в основном в результате теплопроводности.

В таблице 8.15 приведены конструкции утеплителей термоактивной опалубки и их коэффициенты теплопередачи при площади щитов более 1м<sup>2</sup> с соотношением периметра открытых ребер каркаса к площади 3.5:1 - 4:5:1 и общей площади открытых ребер каркаса до 600 см<sup>2</sup>.

Применяя метод управляемого термоса и используя предварительно разогретую бетонную смесь, удельную мощность нагревателей щитов, независимо от модуля опалубкиваемой поверхности, рекомендуется принимать по данным таблицы 8.16.

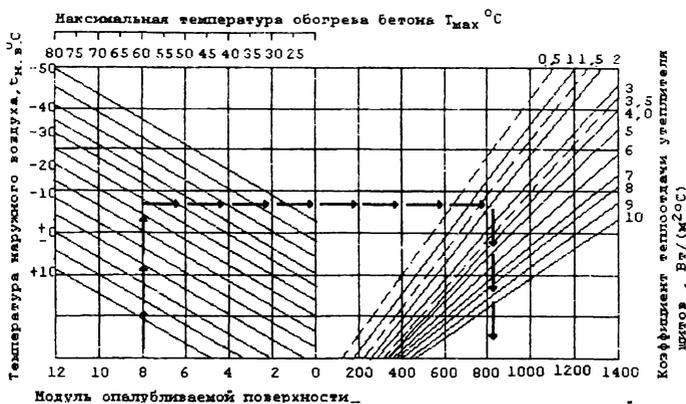
Регулирование температурных режимов обогрева бетона может быть ручное, полуавтоматическое, автоматическое, импульсное и саморегулируемое. При ручном, полуавтоматическом и автоматическом регулировании температурных режимов обогрева бетона удельные мощности рекомендуется принимать по номограмме, приведенной на рисунке 8.10. При импульсной системе регулирования температуры бетона удельную мощность электронагревателей опалубочных щитов выбирают исходя из необходимости обеспечения требуемой скорости подъема температуры на поверхности обогреваемой конструкции в зависимости от величины отношения временных параметров  $\tau_n/\tau_H$ , где:  $\tau_n$  - продолжительность паузы в мин,  $\tau_H$  - продолжительность теплового импульса в мин.

В качестве электронагревателей используется кабель с большим омическим сопротивлением: нихромовой проволоки, тканых стальных или латунных сеток или трубчатых электронагревателей.



**Рис.8.9.Схематический разрез стального термоактивного опалубочного щита "Монолит-72"**

- 1 – стальная палуба щита;
- 2 – электронагреватели; 3 – утеплитель;
- 4 – защитная крышка;
- 5 – теплоотражающий экран.



**Рисунок 8.10 – Номограмма для определения удельной мощности нагревателей термоактивной опалубки при ручном, полуавтоматическом и автоматическом режиме обогрева бетона.**

Удельную мощность электронагревателей ( $P_{уд, н.п.}$ ) рассчитывают по формуле:

$$P_{уд, н.п.} = \frac{q_b + q_n - q_z}{860} * \left( \frac{\tau_n}{\tau_u} + 1 \right), \quad (8.24)$$

где:  $q_b$  – удельный поток тепла необходимый для обеспечения заданной скорости подъема температуры на поверхности обогреваемой конструкции, Вт/м<sup>2</sup>;

$q_n$  – удельные тепловые потери Вт/м<sup>2</sup>;

$q_z$  – усредненное значение теплоты реакции гидратации цемента, определяемое по экспериментальным данным экзотермии применяемого цемента, для конкретного состава бетонной смеси и температурного режима твердения.

Удельный поток тепла  $q_b$  определяют по формуле:

$$q_b = \frac{C_b * \rho_b * \Delta t * h}{\tau_1}, \quad (8.25)$$

где:  $C_b$  – удельная теплоемкость бетона, равная в среднем 1,05 кДж/кг °C;

$\rho_b$  – плотность бетонной смеси;

$\Delta t$  – разница между температурой изотермического выдерживания ( $t_{из}$ ) и начальной температурой бетонной смеси ( $t_{б.н.}$ ) °C;

$h$  – толщина обогреваемой конструкции, м;

$\tau_1$  – продолжительность подъема температуры от  $t_{б.н.}$  до  $t_{из}$ , ч.

**Таблица 8.15 – Коэффициенты теплопередачи различных конструкций утеплителя термоактивной опалубки при скорости ветра 1 м/с.**

Конструкция утеплителя	Коэффициент теплоотдачи при работающих нагревателях	
	Вт/м <sup>2</sup> °С	%
1	2	3
Минераловатный мат толщиной 20 мм + фанера толщиной 3 мм	5,0	68
Минераловатный мат 40 мм + фанера 3 мм	3,44	100
Минераловатный мат 60 мм + фанера 3мм	2,77	123
Воздушная прослойка 30 мм + фанера 3 мм, утепленная по контуру минеральной ватой	5,83	59
Воздушная прослойка 15 мм + фанерный щит с сотовым заполнением 30 мм, утепленная по контуру минеральной ватой	4,84	71
Теплоотражающий экран из алюминиевой фольги + минеральная вата 40 мм + фанера 3 мм.	3,07	112

Удельные тепловые потери  $q_n$  (Вт/м<sup>2</sup>) определяют по формуле:

$$q_n = \bar{a} * (t_{пов} - t_{н.в}), \quad (8.26)$$

где:  $\bar{a}$  – среднее значение коэффициента теплоотдачи на поверхности термоактивной опалубки, Вт/м<sup>2</sup>, °С;

$t_{пов}$  – усредненное значение температуры поверхности опалубки, °С;

Продолжительность тепловых импульсов можно представить графически (рис.8.11). Диапазон допустимых импульсов  $\tau_v^{доп}$  должен лежать в пределах:

$$\tau_v^{доп} \leq \frac{0,52}{P'_н}, \quad (8.27)$$

где: 0,52 – максимально допустимый расход электроэнергии, затрачиваемый на нагрев бетона за время  $\tau_v$  в кВт\*ч/м<sup>2</sup>;

$P'_н$  – полезная электрическая мощность, выделяемая 1 м<sup>2</sup> термоактивной опалубки при непрерывном обогреве бетона, кВт/м<sup>2</sup>;

Продолжительность паузы между импульсами определяют по формуле:

$$\tau_n = \tau_U * \left[ \left( \frac{V_U}{V_H} \right)^2 - 1 \right], \quad (8.28)$$

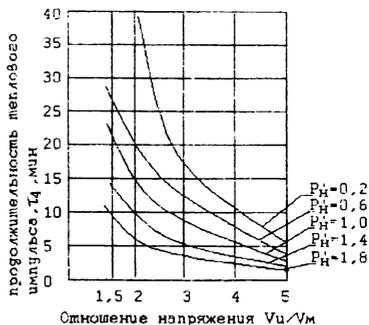
где:  $V_U$  – напряжение при импульсном обогреве, В;

$V_H$  – напряжение при непрерывном обогреве, В.

Каждый щит термоактивной опалубки имеет маркировку, в которой указывают его электрические параметры (мощность, силу тока и напряжение).

В комплект оборудования термоактивной опалубки, например, "Монолит", разработанной ЦНИИОМТП, входят понижающий трансформатор ТМО-50, система разводки, щит управления и помещение для дежурного электрика или оператора. Установка ЦНИИОМТП обеспечивает питание 100-150 м<sup>2</sup> термоактивной опалубки.

Экономически целесообразно применять термоактивную опалубку при температурах наружного воздуха ниже -20°С и модуля поверхности конструкций более 6 м<sup>2</sup>.



**Рис.8.11. – Диаграмма продолжительности тепловых импульсов при обогреве монолитных конструкций.**

$V_u$  - напряжение при импульсном обогреве;  $V_M$  - напряжение при непрерывном обогреве;  $P_n'$  - полезная электрическая мощность, выделяемая 1 м<sup>2</sup> термоактивной опалубки при непрерывном обогреве бетона, кВт/м<sup>2</sup>.

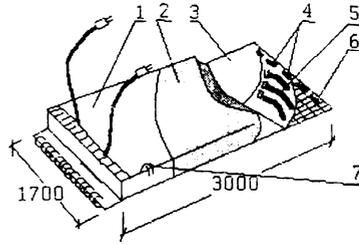
**Таблица 8.16 – Рекомендуемые удельные мощности электронагревателей щитов термоактивной опалубки при использовании предварительно разогретой бетонной смеси и применения метода управляемого термоса.**

К-т сопротивления теплопередачи утеплителя щитов (м <sup>2</sup> /°С/Вт)	Удельная мощность электронагревателей щитов, Вт/м <sup>2</sup> .										
	При перепаде температур бетонной смеси и наружного воздуха * °С										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
0,572	-	-	-	-	-	105	120	140	155	175	190
0,344	-	-	-	116	145	175	204	230	260	290	320
0,244	-	-	120	160	200	244	285	325	366	407	448
0,191	-	105	155	210	260	314	366	420	470	520	575
0,156	-	128	190	256	320	384	448	510	575	640	700
0,132	-	150	227	300	380	455	530	600	680	760	830
0,115	-	175	260	350	435	524	610	700	785	870	960
0,101	100	198	300	395	495	590	690	790	890	990	1080
0,094	110	220	330	440	550	660	770	880	990	1100	1215

\* Среднее значение температуры наружного воздуха в течении суток, °С.

Примечание: при удельных мощностях электронагревателей, приведенных в верхней части таблицы, ограниченной жирной линией, рекомендуется применять деревянную термоактивную опалубку, оборудованную нагревательными проводами; при удельных мощностях, приведенных в нижней части таблицы – стальную опалубку, оборудованную ТЭНами и нагревательными кабелями типа КНМС.

Наряду с термоактивной опалубкой на базе жесткой инвентарной щитовой опалубки различных конструкций контактный прогрев уложенного бетона может быть осуществлен с помощью термоактивных гибких покрытий, резиновых или пластиковых матов с вмонтированными в них ленточными нагревателями. Конструкция гибкого греющего покрытия, предложенного ЦНИИОМТП и Ростовским филиалом Академии коммунального хозяйства, приведена на рис.8.12.



**Рис.8.12. – Гибкое греющее покрытие.**

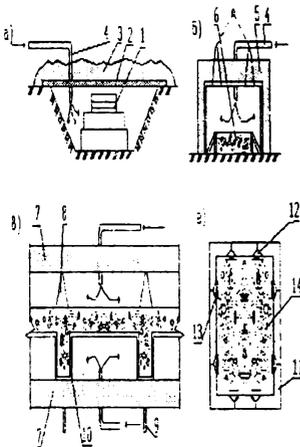
- 1 - защитный чехол из прорезиненной ткани, 2 - утеплитель из стеганой стек лоткани, 3 - асбестоткань АТ-1, 4 - отверстия для крепления к чехлу, 5 - углеродная лента, 6 - стеклоткань, 7 - тесьма.

### 8.6.5. Паропрогрев бетона

Паропрогрев обеспечивает наиболее благоприятные тепловлажностные условия для ускоренного твердения бетона. Однако он сложен в условиях строительной площадки и к нему прибегают, когда имеются затруднения с обеспечением электроэнергией и вблизи имеется избыток пара.

Для прогрева монолитного железобетона применяют пар низкого давления (0,05...0,07 Мн/м<sup>2</sup>) с температурой 80-95°С. Режим прогрева принимают следующий: скорость подъема температуры - не более 5-10°С в час, изотермический прогрев насыщенным паром при температуре 80°С для бетонов на портландцементе и 95°С - на шлакопортландцементе и пуццолановых портландцементе; скорость остывания по окончании прогрева - до 10°С в час. При высокой температуре и давлении свыше 0,07 Мн/м<sup>2</sup> пар следует пропускать через воду для увлажнения.

Паропрогрев бетона ведут путем пуска пара в тепляки или паровые рубашки (рис.6.13).



**Рис. 8.13. – Паропрогрев бетона.**

- а,б - в тепляках; в - в паровой рубашке; г - в капиллярной опалубке колонны;  
 1- прогреваемый фундамент, 2 - настил, 3 - утеплитель из опилок,  
 4 - шланг-паропровод, 5 - съемный тепляк, 6 - прогреваемая плита,  
 7 - теплоизолирующая обшивка, 8 - козелки, 9 - стойки, 10 - ребристое  
 перекрытие, 11 -- щит капиллярной опалубки, 12 - пазы-капилляры,  
 13 - стальная по лоса, 14 - колонна.

Плоские тепляки устраивают при прогреве фундаментов и фундаментных плит на грунтах, устойчивых к замачиванию. Фундамент закрывают легким переносным тепляком, в который по шлангам пускают пар, чтобы прогрев протекал равномерно, полости рубашек колонн и стен разделяют на отсеки высотой 3-4 м и в каждый из них подают пар. При прогреве балок и ригелей отсеки делают длиной 2-3 м.

### **8.7. Производство работ в условиях сухого и жаркого климата**

При производстве бетонных работ в условиях, когда температура наружного воздуха выше +25°С и относительная влажность менее 50%, происходит увеличение водопотребности бетонной смеси при повышении её температуры, быстрая потеря смесью подвижности в процессе её транспортирования и при выдерживании до укладки, интенсивное обезвоживание уложенного бетона, значительная начальная усадка бетона, формирование неравномерного температурного поля в конструкциях под действием солнечной радиации. Невыполнение необходимых требований по уходу может снизить прочность бетона к 28-суточному возрасту до 50%. Соблюдением же необходимых технологических мероприятий в подобных условиях можно в значительной степени предотвратить развитие деструктивных процессов в бетоне.

Для бетонов, укладываемых в жарких и сухих условиях, следует применять быстротвердеющие, но малоусадочные портландцементы, которые плохо отдают воду и снижают усадку. Не рекомендуется применять глиноземистые, пуццолановые портландцементы и шлакопортландцементы. Для сохранения вязкости бетонной смеси в неё вводят водоудерживающие и пластифицирующие добавки.

Заполнители перед приготовлением бетонной смеси нужно защищать от солнечной радиации. Пористый щебень (гравий) рекомендуется увлажнять, прибавляя к ним дробленый лед.

Продолжительность перемешивания бетонной смеси в условиях сухого и жаркого климата увеличивают на 30-50%. При этом в бетоносмеситель загружают заполнитель, а также 2/3 расчетного количества воды и перемешивают в течение 1-2 мин. Затем добавляют цемент, остальную воду, вводят добавки и вновь перемешивают 3-4 мин. Водоцементное отношение увеличивается для обеспечения требуемой по проекту подвижности и В/Ц к моменту укладки при перевозке бетонной смеси на большие расстояния.

Готовую бетонную смесь транспортируют в закрытой таре, в автобетоновозах и автобетоносмесителях, покрашенных в светлые тона. Оптимальный вариант транспортирования бетонной смеси в условиях сухого и жаркого климата является загрузка сухих смесей в автобетоносмеситель и перемешивание её с водой при подъезде к объекту (или непосредственно на объекте).

Уход за свежеложенным бетоном обычно делят на два периода. Начальный уход (1-2ч. после укладки бетона) заключается в предохранении свежеложенного бетона от прямого воздействия солнечной радиации и влияния

опалубки и условий укладки бетонной смеси. При бетонировании высота яруса может достигать 4...5 м. При этом необходимо выбрать такие методы укладки бетонной смеси в конструкции, чтобы предотвратить её расслоение.

Например, при возведении ступенчатых фундаментов высота яруса принимается равной высоте фундамента с подачей бетонной смеси с высоты не более 5 м. При большей высоте яруса бетонирование ведут без перерывов участками высотой 1,5-2 м, опуская бетонную смесь через окна в стенах опалубки.

В колоннах без перекрещивающихся хомутов высота яруса должна быть не более 5 м. При большей высоте колонн необходимо произвести разбивку на дополнительные ярусы бетонирования. В колоннах с густым армированием и перекрещивающимися хомутами, а также с поперечными размерами менее 0,5х0,5 м высоту яруса принимают до 2м.

При бетонировании массивных конструкций высоту яруса рекомендуется принимать не более 4 м.

В одноэтажных и многоэтажных зданиях разбивка на ярусы может быть выполнена следующим образом: I ярус - фундаменты, II ярус - колонны одного этажа, III ярус - перекрытие этажа.

При разбивке сооружений на ярусы необходимо стремиться к тому, чтобы границы ярусов по возможности находились в местах, позволяющих устройство рабочих швов без уменьшения прочности конструктивных элементов.

При бетонировании ряда сооружений и конструктивных элементов, возводимых в скользящей опалубке, расчленение на ярусы не производится, и бетонирование осуществляется на всю высоту конструкции и сооружения.

Захватка представляет собой часть возводимого объекта, на котором выполняется частный строительный поток звеном рабочих.

При разбивке сооружения на захватки следует учитывать следующее:

- наименьший размер захватки должен быть достаточным для производительной работы звена минимального состава на протяжении одной смены;
- наименьший размер захватки по объему работ не должен превышать принятого суточного потока бетонной смеси;
- захватки, как правило, должны быть равновелики по трудоемкости, отклонение от средней трудоемкости не должно превышать 5-10%;
- размер захватки должен соответствовать блоку бетонирования, на котором укладка бетона производится без перерывов, в ряде случаев захватка может включать несколько блоков бетонирования (например, несколько фундаментов, колонн, опор и т.п.);
- границы захваток необходимо назначать в местах, где допускается устройство рабочих, температурных и усадочных швов сооружений.

Общую продолжительность работ  $T$  (сут) для ритмичного потока определяют по формуле:

$$T = \frac{K}{A} * (m + n - 1) + t_{\text{б}}, \quad (9.1)$$

где:  $K$  - модуль цикличности (продолжительность работ на одной захватке), смен;  
 $A$  - число рабочих смен в сутки;  
 $M$  - число захваток на объекте;  
 $n$  - количество простых процессов (частных потоков), из которых состоит общий комплекс работ по бетонированию сооружения;  
 $t_B$  - продолжительность твердения бетона от момента его укладки до распалубки конструкции.

Пример поточной организации процесса устройства железобетонных монолитных фундаментов приведен на рис. 9.1.

Если задан срок выполнения работ, то из приведенной зависимости можно определить число захваток, необходимых на возводимом объекте:

$$m = \frac{A}{K} * (T - t_B) - n + 1, \quad (9.2)$$

Минимальное количество захваток должно быть не менее числа частных потоков с учетом времени выдерживания бетона до приобретения им необходимой прочности и может быть определено по формуле 9.2.

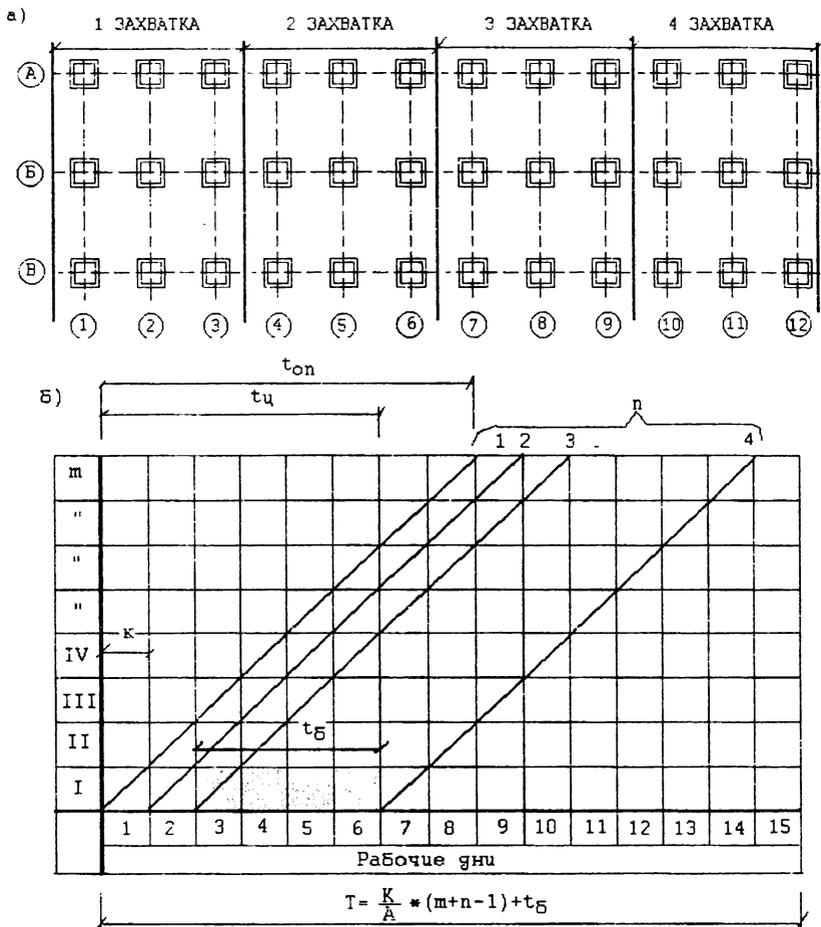
В обычных условиях число захваток принимают не менее четырех. Оно также может быть определено исходя из обеспечения необходимой оборачиваемости опалубки  $n_{об}$ . При ритмичном процессе число оборачиваемости опалубки определяют по формуле 9.3:

$$m_{мин} = \frac{A * t_B}{K} + n - 1, \quad (9.3)$$

$$n_{об} = \frac{t_{оп}}{t_{ц}} = \frac{K * m / A}{K(n-1) / A + t_B} = \frac{m}{n-1 + A * t_B / K}, \quad (9.4)$$

где:  $t_{оп}$ ,  $t_{ц}$  – соответственно длительность установки опалубки на всех захватках и длительность цикла (оборота) опалубки (не учитывая ремонта).

В соответствии с принятым числом захваток выполняют технологические расчеты. Определяют объемы работ на каждой захватке и на основании "Единых норм и расценок" на данный вид работ устанавливают трудоемкость отдельных процессов-частных потоков (табл.9.1). За ними закрепляют специализированные звенья, состав которых принимают, руководствуясь ЕНиР и картами трудовых процессов. Исходя из расчетной трудоемкости работ и принятого числа рабочих, определяют продолжительность выполнения процесса на захватке. На основании технологических расчетов составляют циклограмму (рис.9.1) или график производства работ (табл.9.2).



**Рисунок 9.1 – Поточная организация процесса бетонирования железобетонных фундаментов.**

а – разбивка на захватки фундаментов здания; б – циклограмма производства железобетонных работ по устройству фундаментов;

1 и 2 – установка опалубки и арматуры; 3 – бетонирование; 4 – распалубивание;

K – модуль цикличности, шаг потока;  $t_{оп}$  – длительность частного потока по установке опалубки;  $t_{ц}$  – длительность цикла (оборота опалубки);

$t_б$  – технологический перерыв для твердения бетона; I, II, III, IV... m – захватки.

**Таблица 9.1 – Калькуляция трудовых затрат и заработной платы.**

№ №	Наименование процесса	Единица изме- рения	Обос- нова- ние по ЕНиР	Норма вре- мени чел-ч	Рас- ценка на еди- ницу работ, руб.	Объем работ				Трудоёмкость ра- бот, чел-ч				Зара- ботная плата на весь объем работ, руб.	Состав звена по ЕНиР	
						Все- го	По захват- кам			Все- го	По захват- кам				Про- фессия и раз- ряд	Коли- чество
							1	2	м		1	2	м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

**Таблица 9.2 – Календарный график производства работ.**

№ №	Наимено- вание работ (процессов)	Объем работ		Наиме- нование и марка машины	Затра- ты труда, чел-см	Затраты машин- ного време- ни, маш- см.	Расчетный состав бригады		Продолжи- тельность ра- бот		Проекти- руемый процент выполне- ния норм	Месяц			
		Еди- ница изме- рения	Коли- чест- во				Про- фессия, разряд	Число по раз- рядам	смен	дней		Рабочие дни			
												1	2	и	т.д
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			

## Список литературы

1. Атаев, С.С. Технология индустриального строительства из монолитного бетона. – М.: Стройиздат, 1989. – 336 с.
2. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона. - М.:Стройиздат.1981. – 464 с.
3. Афанасьев, Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н.Ф. Афанасьев, М.К. Целуйко. – Киев: Будівильник, 1989. – 128 с.
4. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебник. – 4-е издание. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 528 с.
5. Батяновский, Э.И. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине "Технология монолитного и приобъектного бетонирования для студентов специальности «Производство строительных изделий и конструкций». – Минск, 2004. – 50с.
6. Березовский Б.И. Возведение монолитных конструкций зданий и сооружений / Б.И. Березовский [ и др.] – М: Стройиздат, 1981. – 335с.
7. Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование. – 2-е изд. 2-е. – М.: Стройинформ; Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 382 с.
8. Васильченко, В.Т. Арматурные работы. – М: Стройиздат, 1986. – 96с.
9. Драченко Б.Ф. Технология строительного производства. 2-е изд., перераб. и доп. / Б.Ф. Драченко [ и др.]. – М.: Агропромиздат, 1990. – 512с.
10. Евдокимов, Н.И. Технология монолитного бетона и железобетона / Н.И. Евдокимов, А.Ф. Мацкевич, В.С. Сытник– М.: Высшая школа, 1980. – 327с.
11. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций: Единые нормы и расценки. Сборник Е 4. – Вып.1: Здания и промышленные сооружения. Госстрой СССР. - М: Стройиздат, 1987. – 64с,
12. Загороднев, В.А. Опалубочные работы при возведении монолитных конструкций в блочно-переставной опалубке. - М: Стройиздат, 1984. – 96с.
13. Инструкция по эксплуатации мелкощитовой опалубки "Модостр" и "Модостр-Комби". – Минск: БелНИИС, 1997. – 62с.
14. Кальгин, А.А. Лабораторный практикум по технологии бетонных и железобетонных изделий / А.А. Кальгин, Ф.Г. Сулейманов. – М.: Высшая школа, 1994. – 274 с.
15. Королев, К.М. Справочник молодого машиниста бетонорастворосмесителей и бетонорастворонасосных установок. – М.: Высшая школа. 1982. –238с.
16. Лешинский, М.Ю. Испытание бетона. Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.
17. Лавринович, Е.В. Изготовление железобетонных элементов виброштампованием / Е.В. Лавринович, О.А. Совалов. – М.-Л.: Госстройиздат, 1961. – 139 с.
18. Марковский, М.Ф. Новая опалубочная система: реальность и перспективы. Современные конструктивно-технологические системы зданий и строительные материалы. – Минск: БелНИИС, 1997. – С. 32-35.
19. Машины для монтажных работ и вертикального транспорта / В.И. Поляков [и др.] – М.: Стройиздат, 1981. – 351с.
20. Мацкевич, А.Ф. Несъемная опалубка монолитных железобетонных конструкций. – М: Стройиздат. 1986. – 96с.
21. Миронов, С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.

22. Плосконосов, В.Н. Повышение долговечности бетона при его работе в агрессивной торфяной среде. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: 1982. – 216с.
23. Плосконосов, В.Н. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Технология монолитного и приобъектного бетонирования» для студентов специальности 70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций». – Брест, 2005. – 31 с.
24. Проектирование и устройство траншейных и свайных стен методом "Стена в грунте": Республиканские строительные нормы. РСН 20-87. Госстрой БССР. – Минск, 1988. – 110 с.
25. Розенбойм, Л.С. Малая механизация бетонных работ. – М.: Стройиздат. 1984. – 84с.
26. Руководство по конструкциям опалубок и производство опалубочных работ. ЦНИИОМТП Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 501с.
27. Руководство по производству бетонных работ. М. Стройиздат. ЦНИИОМТП и НИИЖБ, 1995. – 314с.
28. Совалов, И.Г. Механизация бетонных работ при возведении монолитных конструкций / И.Г. Совалов, Я.Г. Могилевский. – М.: Стройиздат, – 1977. – 150с.
29. Совалов, И.Г. Бетонные и железобетонные работы / И.Г. Совалов, Я.Г. Могилевский, В.И. Остромогольский. – М.: Стройиздат, 1988. – 335с.
30. Справочник по производству сборных железобетонных изделий / под ред. К.В. Михайлова и А.А. Фоломеева. – М.: Стройиздат, 1982. – 439 с.
31. Строительные краны: справочник / под ред. В.П. Станевского. – Киев: Будівельник, 1984. – 264 с.
32. Сухачев, В.П. Средства малой механизации для производства строительно-монтажных работ: справочник строителя / В.П. Сухачев, Р.А. Каграманов. – М.: Стройиздат, 1989. – 383 с.
33. Хаютин, Ю.Г. Монолитный бетон. – М.: Стройиздат, 1991. – 573с.
34. Шеронов, В.И. Проектирование составов тяжелого бетона: учебное пособие / В.И. Шеронов, В.В. Беляков. – Нижний Новгород: Изд-во НГУ, 1991. – 63 с.
35. Шишкин, Б.В. Применение термоактивной опалубки при производстве бетонных и железобетонных работ в зимних условиях. – М.: Стройиздат, 1976. – 96 с.
36. Шихненко, И.В. Справочник по бетонным работам / И.В. Шихненко, И.А. Влащенко, А.В. Бондарчук. – Киев: Будівельник, 1987. – 207 с.
37. Штоль, Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений / Т.М. Штоль, В.И. Теличенко, В.И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. –286 с.
38. Технология строительного производства: учебник для вузов / под ред. Г.М. Бадьина и А.В. Мещонинова. – 4-е изд. перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд., 1987. – 606 с.
39. Чураков, А.И. Производство специальных работ в гидротехническом строительстве. Учебн. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1976. – 256 с.
40. Шалимо, Т.Е. Особенности трубопроводного транспорта бетонных смесей бетононасосами / Т.Е. Шалимо, И.И. Тулупов, М.Ф. Марковский. – Минск: Наука и техника, 1989. – 175 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ .....	5
2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ .....	5
2.1 Общие сведения .....	5
2.2 Складирование и переработка заполнителей бетона .....	7
2.3 Складирование цемента и тонкодисперсных добавок .....	10
2.4 Склады и оборудование для приготовления химических добавок .....	12
2.5 Бетоносмесительное оборудование .....	13
2.6. Дозирование составляющих бетонной смеси .....	16
3. ОПАЛУБОЧНЫЕ РАБОТЫ .....	17
3.1 Общие сведения .....	17
3.2 Классификация и область применения опалубки .....	18
3.3 Проверочный расчет опалубки .....	18
3.4.1. Мелкощитовая опалубка .....	25
3.4.2. Крупнощитовая опалубка .....	31
3.4.3. Подъемно-переставная опалубка .....	33
3.4.4. Блочная опалубка .....	34
3.4.5. Объемно-переставная опалубка .....	35
3.4.6. Скользящая опалубка .....	37
3.4.7 Горизонтально-перемещаемая (катучая) и туннельная опалубки .....	42
3.4.8 Пневматическая опалубка .....	43
3.4.9. Несъемная опалубка .....	44
3.5. Смазки, антиадгезионные покрытия и футеровки для опалубки .....	47
4. АРМАТУРНЫЕ РАБОТЫ .....	53
4.1. Классификация и сортмент арматурной стали .....	53
4.2 Арматурные изделия .....	59
4.3. Изготовление ненапрягаемой арматуры .....	61
4.4. Армирование предварительно напряженных железобетонных конструкций .....	64
4.5. Монтаж ненапрягаемой арматуры на объекте .....	66
5. БЕТОННЫЕ РАБОТЫ .....	68
5.1. Материалы для бетонных смесей .....	68
5.1.1. Вяжущие .....	68
5.1.2. Заполнители .....	71
5.2. Классификация и область применения бетонов .....	74
5.3.1. Расчетн -экспериментальный метод подбора состава бетона по абсолютным объемам .....	78
5.3.2. Расчет состава бетона по методу БГПА (методу проф. И.Н. АХВЕРДОВА) .....	82
5.4. Приготовление бетонных смесей .....	91
5.5. Транспортирование бетонной смеси .....	98
5.5.1 Организация транспортирования бетонной смеси .....	104
5.6. Укладка бетонной смеси .....	105
5.6.1. Общие требования .....	105
5.6.2. Подача бетонной смеси по виброжелобам .....	106
5.6.3. Подача бетонной смеси кранами .....	107
5.6.4. Укладка бетонной смеси бетононасосами и пневмонагнетателями .....	110
5.6.5. Укладка бетонной смеси ленточными конвейерами .....	120

5.6.6. Укладка бетонной смеси автотранспортом с эстакады .....	122
5.7. Бетонирование конструкций и сооружений .....	123
5.7.1. Общие положения .....	123
5.7.2. Конструктивные и технологические швы .....	123
5.7.3. Уплотнение бетонной смеси .....	125
5.7.4. Вакуумирование бетона .....	128
5.7.5. Бетонирование бетонных подготовок, полов и фундаментных плит .....	130
5.7.6. Бетонирование фундаментов и массивов .....	132
5.7.7. Бетонирование стен и перегородок .....	134
5.7.8. Бетонирование колонн и ребристых перекрытий, сводов и арок .....	135
6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОННЫХ РАБОТ .....	137
6.1. Раздельное бетонирование .....	137
6.2. Торкретирование .....	138
6.3. Подводное бетонирование .....	140
6.5. Бетонирование конструкций методом "стена в грунте" .....	142
6.6. Бетонирование в скользящей опалубке .....	145
7. УХОД ЗА БЕТОНОМ И КОНТРОЛЬ ЕГО КАЧЕСТВА .....	147
7.1. Условия твердения бетона, распалубка и уход за ним .....	147
7.2. Контроль качества .....	148
7.3. Исправление дефектов бетонных и железобетонных конструкций .....	151
8. ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ .....	152
8.1. Особенности бетонирования в зимних условиях .....	152
8.2. Подготовка к производству бетонных работ в зимних условиях .....	154
8.3. Подбор составов и приготовление бетонных смесей при зимнем бетонировании .....	154
8.4. Транспортирование бетонной смеси в зимних условиях .....	155
8.5. Безобогревные методы бетонирования .....	157
8.5.1. Метод термоса .....	157
8.5.2. Холодные бетоны .....	161
8.5.3. Бетонирование в тепляках .....	162
8.5.4. Предварительный электроразогрев бетонных смесей .....	163
8.6. Искусственный прогрев монолитных конструкций .....	166
8.6.1. Электропрогрев бетона .....	166
8.6.2. Обогрев бетона инфракрасными излучателями .....	174
8.6.3. Индукционный прогрев .....	175
8.6.4. Применение термоактивной опалубки .....	176
8.6.5. Паропрогрев бетона .....	180
8.7. Производство работ в условиях сухого и жаркого климата .....	181
9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ .....	183
9.1. Выбор способов комплексной механизации бетонных и железобетонных работ .....	183
9.2. Проектирование точечной организации производства бетонных и железобетонных работ .....	183
Список литературы .....	188

Учебное издание

Владимир Николаевич Плосконосов

# ТЕХНОЛОГИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Конспект лекций для студентов высших учебных заведений  
специальности «Производство строительных изделий  
и конструкций»

Ответственный за выпуск: **В.Н. Плосконосов**

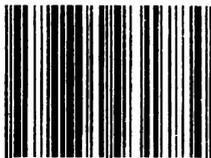
Редактор: **Т.В. Строкач**

Компьютерная верстка и дизайн: **Е.А. Боровикова**

Корректор: **Е.В. Никитчик**

---

ISBN 978-985-493-178-4



Подписано к печати Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага «Снегурочка». Гарнитура Arial.  
Усл. п.л. 11,6. Уч. изд. л. 12,0. Тираж 100 экз.  
Заказ № 16. Отпечатано на ризографе  
Учреждения образования «Брестский  
государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.  
Лицензия № 02330/0549435 от 8.04.2009 г.

9 789854 931784