

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра строительного производства**

**О. Е. ПАНТЮХОВ, Т. В. ЯШИНА**

**ТЕХНОЛОГИЯ  
МОНОЛИТНОГО И ПРЕДЪЕКТНОГО  
БЕТОНИРОВАНИЯ**

**Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному  
проектированию для специализации  
«Производство строительных изделий и конструкций»**

**Гомель 2009**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра строительного производства

О. Е. ПАНТЮХОВ, Т. В. ЯШИНА

# ТЕХНОЛОГИЯ МОНОЛИТНОГО И ПРИОБЪЕКТНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному  
проектированию для специализации  
«Производство строительных изделий и конструкций»

*Одобрено методической комиссией  
факультета ПГС*

Гомель 2009

УДК 624.012.4(075.8)  
ББК 38.626.1  
П16

Р е ц е н з е н т – зав. кафедрой АПГС д-р архитектуры, профессор  
*И. Г. Малков* (УО «БелГУТ»).

**Пантюхов, О. Е.**

П16 Технология монолитного и приобъектного бетонирования : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию для специализации «Производство строительных изделий и конструкций» / О. Е. Пантюхов, Т. В. Яшина ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 98 с.  
ISBN 978-985-468-202-0

Изложены основные положения по технологии производства монолитных бетонных работ. Приведены рекомендации по выбору эффективных способов монолитного бетонирования для различных бетонных и железобетонных изделий и конструкций; примеры организации технологического процесса и технологические расчёты по бетонным работам.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Производство строительных изделий и конструкций», для курсового и дипломного проектирования.

**УДК 624.012.4(075.8)**  
**ББК 38.626.1**

**ISBN 978-985-468-202-0**

© Пантюхов О. Е., Яшина Т. В., 2009  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2009

## ВВЕДЕНИЕ

Студенты факультета «Промышленное и гражданское строительство» специализации «Производство строительных изделий и конструкций» в соответствии с учебным планом изучают разделы технологии монолитных бетонных работ в дисциплинах «Технология строительных процессов» и «Технология сборных бетонных и железобетонных изделий, монолитного и приобъектного бетонирования».

Для укрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков в проектировании железобетонных изделий и конструкций из монолитного бетона студенты выполняют курсовые работы.

Практика подтвердила технико-экономические преимущества строительства жилых и общественных зданий из монолитного бетона, позволяющего с минимальными затратами повысить качество и архитектурную выразительность отдельных зданий и комплексов, а также реализовать ресурсосберегающие возможности технологии.

В монолитном железобетоне наиболее полно могут быть использованы достижения бетоноведения, новых композиционных материалов, прогрессивных энергосберегающих технологий при сравнительно невысоких затратах на механизацию и автоматизацию технологических процессов.

Выполнение зданий и сооружений в монолитном железобетоне позволяет оптимизировать их конструктивные решения; перейти от разрезных схем, требующих значительных материальных и трудовых затрат на устройство равнопрочных стыков, к неразрезным пространственным системам; учесть совместную работу элементов и тем самым снизить их сечения; обеспечить высокую надёжность в работе. Монолитные конструкции позволяют существенно повысить эксплуатационные характеристики зданий. Переход с крупнопанельного домостроения к монолитному и сборно-монолитному решает проблему стыков, повышает их теплотехнические и изоляционные свойства, снижает затраты на эксплуатационные расходы.

За счёт создания рациональных условий работы конструкции достигается значительное снижение расхода материалов, и в частности,

металла. Например, для ленточных фундаментов жилых домов на 23 %, фундаментов промзданий – на 14 %, безбалочных перекрытий – на 25 % и т. д.

При возведении фундаментов под колонны промышленных зданий монолитный вариант в 1,6–1,8 раз дешевле сборного.

При устройстве ленточных фундаментов сборный вариант по стоимости на 30 % дороже, в то время как монолитный вариант по трудозатратам несколько выше, но обеспечивает снижение расхода металла на 16–22 %, цемента – 8–17 %.

При возведении многоэтажных зданий с монолитными безбалочными перекрытиями суммарные приведённые затраты до 30 % ниже, чем в сборном.

Интенсификация монолитного строительства как комплексный процесс включает:

- организационно-технические мероприятия;
- индустриализацию основных технологических процессов на базе комплексной механизации работ;
- широкое использование научных достижений в области технологии и механизации работ;
- использование эффективных строительных материалов, в том числе композиционных на базе местных с использованием отходов производства;
- энергосберегающие технологии приготовления бетонных смесей и её укладки;
- прогрессивные архитектурно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений;
- новые виды оснастки и прогрессивные технологии;
- использование социально-экономических стимулов повышения производительности труда и качества работ.

Пособие призвано помочь студентам в изучении раздела «Бетонные работы» и в выполнении курсовых и дипломных работ по технологии монолитного бетонирования.

В курсовом проектировании студенты для заданного изделия или конструкции (после выбора опалубки и арматуры по специальной технической литературе) подбирают состав бетона с учётом требований, предъявляемых к железобетонному изделию; выбирают технологию и методы бетонирования конструкции в соответствии с рекомендациями, изложенными в пособии.

## **1 БЕТОН И БЕТОННЫЕ СМЕСИ**

Бетон и бетонная смесь – это разные состояния материала с различными свойствами и требованиями, предъявляемыми к ним. Поэтому не следует смешивать эти два понятия.

Для получения бетона высокого качества помимо применения высококачественных материалов укладываемая бетонная смесь должна обладать определёнными свойствами, соответствующими выбранной технологии.

Одним из важных свойств бетонной смеси является удобоукладываемость – способность её заполнять форму с наименьшими затратами труда и энергии, обеспечивая при этом максимальную плотность, прочность и долговечность бетона.

Удобоукладываемость смеси зависит от её подвижности (текучести) и пластичности (вязности), т. е. способности не расслаиваться при транспортировании и в процессе укладки. Показателем пластичности служит осадка конуса в сантиметрах или показатель жёсткости, измеряемый в секундах.

На практике подвижность бетонных смесей принимают в зависимости от способов подачи их в блок бетонирования, а также от размеров конфигурации и степени армирования конструкций.

В таблице 1.1 приведены показатели подвижности бетонной смеси в момент её укладки.

Осадка конуса бетонных смесей, перемещаемых ленточными транспортёрами, не должна превышать 6 см, в противном случае смесь будет стекать с ленты транспортёра. Подвижность бетонных смесей, перекачиваемых по трубопроводам с помощью бетононасосов или пневмонагнетателей, должна находиться в пределах 6–12 см.

**Таблица 1.1 – Подвижность бетонных смесей, укладываемых в различные конструкции**

Виды работ и конструкции	Осадка конуса, см	Показатель жёсткости, с
Подготовка под фундаменты и полы, основания дорог и аэродромов	0–1	50–60
Покрывтия дорог и аэродромов, массивные неармированные или малоармированные конструкции (подпорные стенки, фундаменты, блоки массивов)	1–3	25–35
Массивные армированные конструкции, плиты, балки, колонны большого и среднего сечения	3–6	15–25

Виды работ и конструкции	Осадка конуса, см	Показатель жёсткости, с
Железобетонные конструкции, сильно насыщенные арматурой, тонкие стенки и колонны, бункера, силосы, балки и плиты малого сечения: горизонтальные элементы вертикальные элементы	6–8 8–10	10–15 5–10
Конструкции, бетонируемые в скользящей опалубке: при уплотнении вибратором при ручном уплотнении	6–8 8–10	10–15 5–10

Подбор состава бетона следует производить в соответствии с требованиями нового стандарта СТБ 1182-99 «Бетоны. Правила подбора состава» (введён в 2000 г.) с целью получения бетона в изделиях и конструкциях с прочностью и другими показателями качества, установленными нормативными документами или проектной документацией на эти изделия и конструкции, при рациональном использовании материальных и энергетических ресурсов [1].

Подбор номинального состава бетона включает следующие этапы:

- выбор и определение характеристик исходных материалов для бетона;
- расчёт начального состава бетона;
- расчёт дополнительных составов бетона с параметрами составов, отличающихся от принятых в начальном составе в большую или меньшую сторону;
- изготовление пробных замесов начального и дополнительных составов, отбор проб, испытания бетонной смеси, изготовление образцов и их испытание по всем нормируемым показателям качества в соответствии с требованиями стандартов;
- обработку полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава на нормируемые показатели качества бетонной смеси и бетона и предназначенных для назначения номинального, а также назначения и корректировки рабочих составов бетона;

– назначение номинального состава бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества при экономически выгодном расходе вяжущего, химических добавок и тонкодисперсных наполнителей.

Начальный состав бетона рассчитывают по фактическим характеристикам исходных материалов в соответствии с методиками, пособиями и рекомендациями научно-исследовательских институтов, утверждённых в установленном порядке.

Поскольку методы подбора состава бетона студентам уже известны из курсов «Строительные материалы» и «Общее бетоноведение», то в данном пособии они не приводятся.

Следует обратить внимание на то, что для снижения расхода вяжущего и заполнителей, улучшения качества бетонной смеси и бетона, а также для утилизации отходов промышленности рекомендуется предусматривать использование минеральных добавок техногенного происхождения – молотые шлаки, золы-уноса и золошлаковые смеси, отсеvy дробления горных пород,

с учётом требований соответствующих нормативных документов и рекомендаций научно-исследовательских организаций.

Поскольку современные бетоны невозможны без введения химических добавок, модифицирующих их свойства, то следует при подборе состава бетона с химической добавкой руководствоваться требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 30459-96 «Добавки для бетонов» [2, 3]. Примеры подбора составов бетонов приведены в приложениях А–Г.

Технологический процесс приготовления бетонных смесей, их виброуплотнения и ухода за бетоном известны из курсов «Строительные материалы», «Строительные машины», «Общее бетоноведение» и подробно в пособии не рассматриваются.

## **2 УКЛАДКА БЕТОННОЙ СМЕСИ**

### **2.1 Общие положения**

Укладка бетонной смеси включает процессы приёмки, подачи смеси к месту укладки и распределения её в бетонируемой конструкции.

**Перед началом бетонирования определяют:**

- способы подачи, распределения и уплотнения бетонной смеси;
- состав бетонной смеси и показатели её подвижности;
- толщину и направление укладываемых слоёв;
- допустимую продолжительность перекрытия слоёв;
- необходимую интенсивность подачи бетонной смеси с проверкой обеспеченности её поставки бетонными заводами и транспортными средствами;
- потребность в механизмах и рабочих для подачи, распределения и уплотнения бетонной смеси, а также для производства необходимых подсобных работ в процессе бетонирования.

**Перед укладкой бетонной смеси** следует проверить и принять:

все конструктивные элементы и работы, которые закрываются в процессе укладки бетонной смеси (подготовка оснований гидроизоляции, армирование, закладные детали и т. п.);

правильность установки и надлежащее закрепление опалубки и поддерживающих её конструкций;

готовность к работе всех средств механизации укладки бетонной смеси.



Непосредственно перед укладкой бетонной смеси опалубку очищают от мусора и грязи, а арматуру – от отслаивающейся ржавчины. Поверхность оборачиваемой деревянной, фанерной и металлической опалубки покрывают смазкой, которая не должна ухудшать прочностные качества железобетонных конструкций и оставлять следы на их поверхности, ухудшающие внешний вид.

Поверхность бетонной, железобетонной и армоцементной опалубки-облицовки смачивают во избежание потерь влаги в укладываемой бетонной смеси и ухудшения условий твердения и набора прочности в слоях, прилегающих к облицовке.

При подготовке бетонных оснований и рабочих швов горизонтальные и наклонные поверхности очищают от цементной плёнки. Наиболее целесообразно удалять цементную плёнку сразу после окончания схватывания цемента (в жаркую погоду через 6–8 ч после окончания укладки, в прохладную – через 12–24 ч). Очистка бетонных поверхностей от цементной плёнки должна производиться без их повреждения. Прочность бетона должна быть в пределах: при обработке водяной или водовоздушной струёй 0,2–0,3 МПа, механической щёткой – 1,5–2,5 МПа, с помощью гидроспектральной установки – 5–10 МПа. Очистка поверхности водой не допускается.

**При укладке бетонной смеси** непрерывно наблюдают за состоянием опалубки, лесов, магистральных бетонопроводов и другой оснастки. При появлении деформаций или смещения отдельных элементов опалубки, лесов и креплений следует немедленно их устранить и в случае необходимости прекратить работы на этом участке. Во время дождя бетонируемый участок защищают от попадания воды в бетонную смесь. Размытый бетон удаляют.

**Метод подачи бетонной смеси** в конструкцию для конкретных условий определяется проектом производства работ. Выбор варианта определяют по следующим показателям: количеству бетона, укладываемого в смену или сутки, затратам труда и стоимости укладки смеси.

Для укладки бетонных смесей в опалубку применяют бадьи (бункера), ленточные конвейеры, бетононасосы, пневмонагнетатели и другие механизмы.

Бетонную смесь, укладываемую в монолитные конструкции, **уплотняют** штыкованием, трамбованием, вибрированием и вакуумированием. **Цель уплотнения** – обеспечить хорошее заполнение бетонной смесью опалубочной формы и добиться наилучшей упаковки входящих в неё частиц. Хорошо уплотнённый бетон имеет более высокую плотность, его плотность по сравнению с неуплотнённой бетонной смесью повышается с 2,2 до 2,4–2,5 т/м<sup>3</sup>. Возрастают прочность, морозостойкость, водонепроницаемость бетона, улучшаются другие его свойства.

Основным способом уплотнения бетонных смесей является вибрирование, или виброуплотнение. Этот способ применяют для уплотнения смесей с осадкой конуса от 0 до 10 см.

**Сущность процесса виброуплотнения** упрощённо можно представить следующим образом. На бетонную смесь, представляющую собой многокомпонентный конгломерат с рыхлой структурой и упруговязкими свойствами, воздействуют вибрацией. Вибраторы погружают в бетонную смесь, крепят к опалубке или устанавливают на поверхность слоя смеси. Энергия вибрационных колебаний ближайших слоев смеси преодолевает силы внутреннего трения и сцепления между её компонентными частицами. В результате резко снижается вязкость смеси; в период вибрирования она приобретает свойства тяжёлой структурной жидкости, обладающей значительной текучестью. При этом смесь хорошо заполняет опалубочную форму и пространство между густорасположенными арматурными стержнями.

Вместе с тем при снижении вязкости смеси в результате вибрирования её частицы под действием гравитационных сил стремятся занять по отношению друг к другу наиболее устойчивое положение. Это приводит к взаимоупаковке частиц, т. е. к наиболее плотному их расположению в форме. Одновременно в зоне вибрации создаётся повышенное давление, вследствие чего воздух интенсивно вытесняется из бетонной смеси. Эти взаимосвязанные процессы обеспечивают получение бетона с плотной структурой и хорошего качества.

Вибрирование характеризуется двумя параметрами: частотой и амплитудой колебаний.

Вибраторы по вибрационным характеристикам можно подразделить на низкочастотные с числом колебаний до 3500 в 1 мин 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 с наибольшим эффектом применяют для уплотнения бетонных смесей с крупностью заполнителя 50–70 мм и более, среднечастотные – 10–50 мм, высокочастотные – до 10 мм, т. е. мелкозернистые бетоны.

По способу воздействия на бетонную смесь вибраторы подразделяют на внутренние (глубинные), погружаемые рабочим органом (корпусом) в слой бетонной смеси, и непосредственно передающие колебания через корпус.

При уплотнении бетонной смеси внутренними вибраторами толщину укладываемых слоёв принимают не более 1,25 от их рабочей части. Для лучшего сцепления между отдельными слоями вибратор частично заглубляют в ранее уложенный слой (рисунок 2.1).

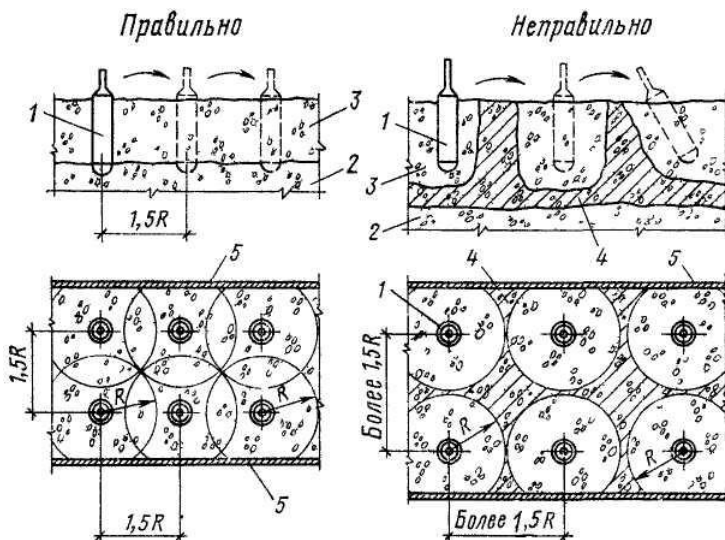


Рисунок 2.1 – Виброуплотнение бетонной смеси:

1 – рабочий орган вибратора; 2 – ранее уложенный слой бетона; 3 – укладываемый слой;  
4 – неуплотнённые участки; 5 – опалубка

**Продолжительность вибрирования** в одной точке зависит от типа вибратора и технологических характеристик бетонной смеси, в частности, её подвижности. Чем меньше подвижность уплотняемой смеси, тем больше длительность её виброуплотнения.

Следует помнить, что при недостаточной продолжительности вибрирования смесь окажется недоуплотнённой, а бетон – пористым и некачественным. Чрезмерно длительное вибрирование приводит к расслоению смеси и ухудшению качества бетона. В каждом случае опытным путём определяют оптимальное время вибрирования. Ориентировочно для внутренних вибраторов оно равно 20–50 с.

**Степень виброуплотнения** определяют визуально. Основными признаками достаточного виброуплотнения служат: прекращение оседания бетонной смеси, появление на её поверхности цементного молока и прекращение выделения пузырьков воздуха.

По окончании виброуплотнения смеси на одной позиции во избежание появления пустот вибратор медленно вытаскивают, не выключая его, и переставляют на новую позицию. Расстояние между позициями не должно превышать полутора радиусов действия вибратора, причём зоны вибрирования должны перекрывать друг друга (см. рисунок 2.1). Радиус действия зависит от подвижности бетонной смеси и типа вибраторов. Для

вибратора с гибким валом И-116А он колеблется от 25 до 50 см, вибробулавы И-50А – от 45 до 50 см.

Для получения качественного бетона особенно тщательно необходимо вести виброуплотнение смеси в углах опалубки и у её стенок, в местах с густорасположенной арматурой, на перегибах конструкции. Чтобы не нарушить сцепления бетона с арматурой или закладными деталями, не следует устанавливать на них работающие вибраторы.

Поверхностными вибраторами бетонную смесь уплотняют отдельными полосами с перекрытием провибрированной полосы на 10–15 см. Толщина слоёв, прорабатываемых поверхностными вибраторами, составляет 25–30 см; продолжительность работы на одной позиции от 20 до 60 с. Окончание вибрирования определяют по внешним признакам, которые перечислены выше.

**Выбор средств вертикального и горизонтального транспорта** бетонных смесей к месту укладки зависит от принятой технологии бетонирования, вида конструкции, технологических и реологических характеристик смесей. Подача бетонной смеси является частью комплексного технологического процесса возведения монолитных конструкций и должна рассматриваться во взаимосвязи с другими процессами. Технический уровень оценивается экономическим показателем – себестоимостью укладки 1 м<sup>3</sup> бетона, в основе которого заложена сумма приведённых затрат на данном технологическом процессе.

## **2.2 Подача бетонной смеси кранами и подъёмниками**

Наиболее распространённым способом укладки бетонной смеси в монолитные конструкции является крановый, с использованием бадей различной конструкции. Преимуществом кранового способа подачи бетонной смеси является возможность её транспортирования по вертикали и горизонтали в любую точку (в пределах вылета стрелы и высоты подъёма крюка). Кроме этого, вследствие универсальности данного метода обеспечивается доставка к месту ведения работ других материалов, конструкций и полуфабрикатов (арматура, элементы сборных конструкций, опалубочные щиты и т. п.).

В условиях, когда доставка бетонной смеси производится автомобилями-самосвалами и бетоновозами, для крановой подачи применяют различные системы горизонтальных поворотных бадей (рисунок 2.2).

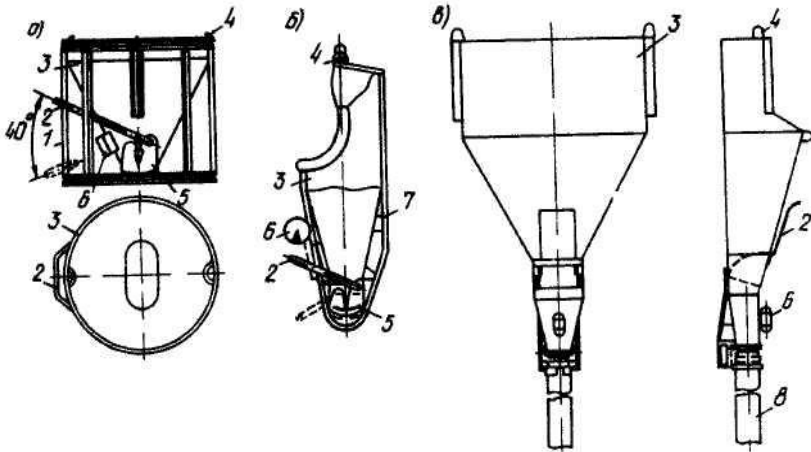


Рисунок 2.2 – Типы бадей (бункеров) для приёма и подачи бетонной смеси:  
*а* – неповоротная; *б* – поворотная; *в* – бункер-игла; 1 – рама; 2 – рукоятка секторного затвора; 3 – бункер; 4 – петли строповочные; 5 – затвор; 6 – вибратор; 7 – бетонная смесь; 8 – гибкий шланг

По конструкции и принципу действия переносные бункера (бадья) бывают поворотные и неповоротные (приложение Д).

Переносной бункер (бадья) должен обеспечивать:

- приёмку бетонной смеси из самосвалов, перегрузочных устройств, автобетоновозов, автобетоносмесителей, стационарных и передвижных бетоносмесительных устройств;
- непрерывную порционную выгрузку бетонной смеси до полного опорожнения бадьи;
- возможность транспортирования с помощью кранов;
- герметичность, исключение потерь цементного молока.

Поворотные бадьи загружают бетонными смесями с помощью автотранспортных средств на стройплощадке, после чего краном устанавливают в вертикальное положение, транспортируют к месту укладки и разгружают. В отличие от них, неповоротные можно загружать как на бетоносмесительных узлах, так и на стройплощадке. Запорные устройства должны быть простыми по конструкции, надёжными в работе и исключать самооткрывание.

Основные недостатки бадей: невозможность укладки бетонных смесей в труднодоступные места (особенно при реконструкции промышленных предприятий), не полное использование грузоподъёмного оборудования, невозможность непрерывной укладки бетонных смесей.

При бетонировании массивных конструкций могут использоваться бадья, полностью вмещающие объём перевозимой автобетоновозом смеси, но чаще всего разгружают смесь в несколько бадей, расположенных рядом. Укладка смесей в тело конструкции осуществляется непосредственно из бадьи, у которой затвор открывается с помощью рычажного приспособления. Для обеспечения ускоренного истечения содержимого бадьи используют навесные вибраторы, которые применяют, как правило, для малоподвижных смесей, имеющих тенденцию к зависанию за счёт их повышенной адгезии со стенками бадей.

Для укладки подвижных, а также литых смесей с пластифицирующими добавками применяют специальную конструкцию бадей в виде бункера-иглы (см. рисунок 2.2, в). Такая бадья снабжается специальным гибким шлангом, обеспечивающим укладку литых смесей методом напорного бетонирования.

Под действием вибрации бетонная смесь в бункере приходит в состояние виброоживления, при котором защемлённый воздух выходит на поверхность. Вибрируемая смесь под действием гидростатического и динамического давления с достаточно высокой скоростью направляется через гибкий хобот в пространство опалубки. Такие конструкции бадей хорошо зарекомендовали себя при бетонировании стен и колонн.

При бетонировании больших массивов используются вертикальные цилиндрические бадья (см. рисунок 2.2, а). Эти бадья более удобны в эксплуатации и менее металлоёмки. Однако загрузка в них малоподвижных и жёстких смесей затруднена. Цилиндрические бадья имеют большую высоту загрузки и требуют использования перегрузочных бункеров, специальных приёмных эстакад и других устройств.

Регулируя размеры выходного отверстия бадьи, можно обеспечить технологически необходимый режим укладки смеси. Это очень важно при производстве бетонных работ в монолитном домостроении, когда укладываются слои высотой 30–40 см.

Для бетонирования немассивных конструкций (отдельностоящих фундаментов небольших объёмов, обычных колонн, балок ригелей, перекрытий, покрытий, тонких стен и т. п.) применяют переносные бункера объёмом 0,5–1 м<sup>3</sup> преимущественно с боковой разгрузкой.

Для конструкций средней массивности (фундаментов под здания и сооружения средних объёмов, мощных каркасов, подпорных стен и т.п.) применяют переносные бункера объёмом 1–2 м<sup>3</sup>. Для массивных конструкций (фундаментов под домны, прокатные станы, дымовые трубы,

блоки гидротехнических сооружений и т. п.) применяют переносные бункера объёмом до 2 м<sup>3</sup> и выше.

**Автомобильные краны** используются при небольших рассредоточенных объёмах бетонных и железобетонных работ на строительстве одноэтажных промышленных зданий. **Стреловые краны** на гусеничном ходу используются для подачи бетонной смеси на объектах любой конфигурации шириной до 30 м и высотой до 20 м. **Башенные краны** грузоподъёмностью 3–8 т применяют для подачи бетонной смеси при возведении многоэтажных жилищно-гражданских и промышленных зданий, а также высотных сооружений (башен, силосов и т. п.). Башенные и портално-стреловые краны грузоподъёмностью 5–25 т применяют для подачи бетонной смеси в гидротехническом строительстве, если параметры гусенично-стреловых или более лёгких башенных кранов не позволяют в достаточной степени охватить бетонируемое сооружение по высоте и ширине или не обеспечивают необходимых темпов укладки бетонной смеси. Мостовые краны применяют для бетонирования фундаментов под оборудование, находящееся внутри здания, несущие конструкции и покрытие которого возведены, а мостовой эксплуатационный кран к началу бетонирования смонтирован. Подача бетонной смеси мостовым краном с соответствующим переносным бункером является более производительной, а трудоёмкость и себестоимость более низкой, чем при подаче стреловыми кранами.

Технические характеристики бадей для подачи бетона приведены в приложении Д.

Для перемещения бетонной смеси только по вертикали используют различные **подъёмники**. Так, при бетонировании дымовых труб смесь подают с помощью специального шахтного подъёмника (рисунок 2.3). При бетонировании междуэтажных перекрытий каркасных зданий в стеснённых условиях используют подъёмники стоечного типа (рисунок 2.4), которые поднимают бетонную смесь в ковшах или контейнерах. Для горизонтального транспортирования смеси используют тачки-рикши, мотороллеры и мототележки.

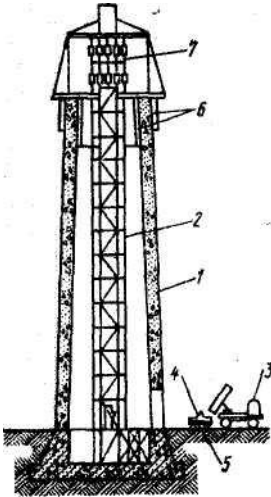


Рисунок 2.3 – Подача бетонной смеси шахтным подъемником:

1 – бетонируемая труба; 2 – шахтный подъемник; 3 – автобетоновоз; 4 – приёмный бункер (ковш); 5 – передаточная тележка; 6 – подъемно-переставная опалубка; 7 – подъемная головка

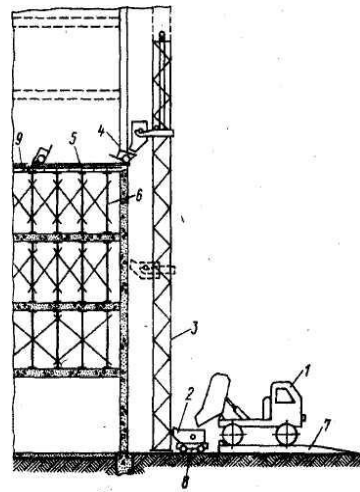


Рисунок 2.4 – Подача бетонной смеси стоечным подъемником:

1 – автобетоновоз; 2 – ковш; 3 – стоечный подъемник; 4 – тележка; 5 – катальные хода; 6 – стойка лесов; 7 – пандус; 8 – передаточная тележка; 9 – бетонируемое перекрытие

### 2.3 Гравитационная подача бетонной смеси

При бетонировании фундаментов мелкого заложения, свай, подготовок под полы и основания автомобильных дорог смесь разгружают непосредственно в конструкцию без применения специальных бетоноукладочных механизмов. Непосредственная разгрузка бетонной смеси в опалубку связана с рядом ограничений. Так, при устройстве ленточных фундаментов и наличии удобного подъезда транспортных средств можно подавать смесь, опрокидывая кузов автобетоновоза. В этом случае принимают меры к укреплению щитов опалубки, которые будут испытывать значительную динамическую нагрузку.

Точка разгрузки при максимальном приближении кузова к бетонируемой конструкции может находиться вне габаритов опалубки. В этом случае подачу смеси необходимо производить по **наклонному лотку**. С целью расширения зоны подачи лотки делают поворотными. Такими лотками оснащаются автобетоносмесители и некоторые автобетоновозы.

Основным недостатком транспортирования смесей по лоткам является необходимость использования подвижных смесей, которые легко расслаиваются. Укладка смеси требует больших затрат ручного труда на её перемещение лопатами вниз по уклону. Применение лотков длиной более 4



м нежелательно, так как приводит к значительным затратам на их устройство и обслуживание.

Более эффективным следует считать использование **вибротоктов** и **вибропитателей**. Такой приём позволяет сохранить технологические свойства бетонных смесей, а в ряде случаев (вследствие повторного вибрирования) и улучшить их. Технологическая схема транспортирования бетонной смеси вибропитателями приведена на рисунке 2.5. Из автобетоновоза смесь разгружается в приёмный бункер, оснащённый вибраторами, откуда направляется в виброжёлоб и затем в бетонируемую конструкцию. Виброжёлоб собирают из стандартных секций длиной 4 или 6 м и крепят к инвентарным стойкам на пружинных подвесках. На желобах устанавливают вибраторы таким образом, чтобы их равнодействующая была направлена по оси жёлоба. Горизонтально направленная вибрация с амплитудой 5–10 мм облегчает транспортирование смеси за счёт уменьшения трения о стенки и днище жёлоба, а также виброожижения смеси и движения её самотёком. Нормальная подача возможна при угле наклона 5–30° для смесей подвижностью 4–12 см. Этим способом нельзя транспортировать малоподвижные и жёсткие смеси, так как в них быстро демпфируются колебания и транспортный эффект снижается. При транспортировании смеси подвижностью более 12 см и угле наклона жёлоба более 10° смесь просто выплёскивается. Интенсивность укладки смеси виброжелобами составляет 10–30 м<sup>3</sup>/ч.

Примеры установки вибротоктов при бетонировании конструкций различной глубины заложения приведены в [4].

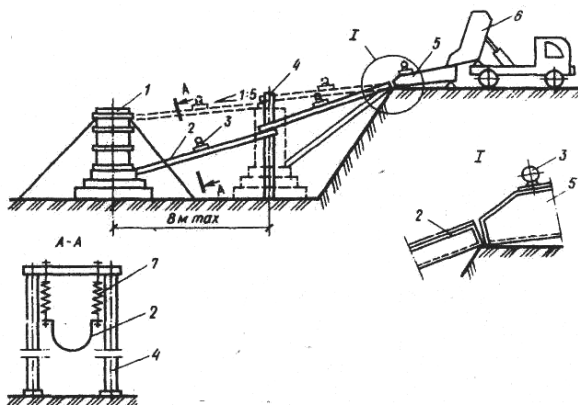


Рисунок 2.5 – Подача бетонной смеси вибропитателями:

- 1 – опалубка; 2 – виброжёлоб (лоток); 3 – вибратор; 4 – стойка; 5 – вибропитатель; 6 – автобетоновоз; 7 – пружинная подвеска

С целью совершенствования технологии подачи подвижных бетонных смесей используют замкнутые виброжелоба в виде труб диаметром 200–230 мм [6].

При укладке смесей в конструкции допускается её свободное падение. **Высота сброса ограничивается** нормативными показателями. Ограничение имеет своей целью исключить расслоение укладываемой смеси. С увеличением высоты сбрасывания резко возрастает сопротивление воздуха, которое превышает предельно допустимое напряжение сдвига для бетонной смеси. Происходит разрушение сплошности среды, так как более тяжёлые частицы обладают и большим градиентом скорости. Это является одной из причин расслоения, которое усиливается в момент столкновения с основанием и отскока крупного заполнителя от поверхностей. При высоте сбрасывания свыше 3 м в армированных колоннах или стенах образуются пустоты, не заполненные раствором.

При высоте сбрасывания более 3 м применяются хоботы и виброхоботы. При высоте 10 м и более требуется устройство специальных эстакад, что связано с большими экономическими затратами.

При высоте свободного падения бетонной смеси 10–80 м применяют виброхоботы в виде секционных трубопроводов [4].

На рисунке 2.6 приведена конструкция хобота, которая представляет приёмную воронку с цепочкой гибко соединённых между собой усечённых конусов из тонкой листовой стали, прорезиненной ткани полимерного материала.

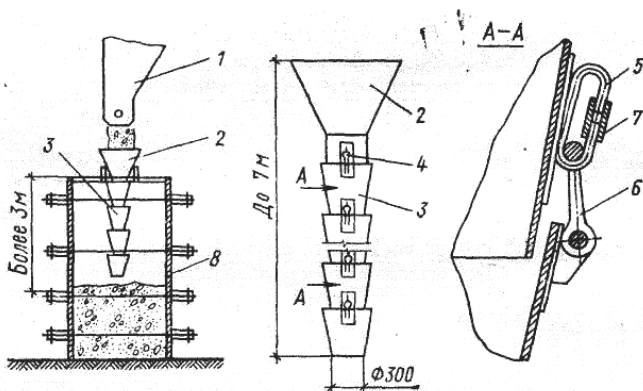


Рисунок 2.6 – Подача бетонной смеси по хоботам:

- 1 – бадейка; 2 – приёмная воронка; 3 – звено; 4 – подвеска; 5 – нижнее кольцо;  
6 – откидное кольцо; 7 – трубка; 8 – опалубка

Для равномерного распределения бетонной смеси по площади бетонируемой конструкции разрешается оттягивать хобот в сторону не

более чем на 0,25 м на каждый метр высоты. При этом два нижних звена должны оставаться вертикальными.

## 2.4 Подача и распределение бетонной смеси ленточными транспортёрами (конвейерами), бетоноукладчиками и мототележками

Для бетонирования массивных конструкций, а также линейно протяжённых сооружений и в стеснённых условиях бетонную смесь можно доставлять **ленточными транспортёрами (конвейерами)**. Производительность их довольно высока – 70 м<sup>3</sup>/см.

Для подачи и укладки бетонных смесей в опалубку успешно применяют ленточные конвейеры. Они бывают переставные и смонтированные на самоходной или прицепной базе.

Самоходные ленточные бетоноукладчики наиболее эффективны при интенсивной укладке бетонных смесей (более 20 м<sup>3</sup> в смену). Если их стрела 21–25 м и больше, можно в 2,5 раза снизить расходы на устройство временных дорог.

Переставными ленточными конвейерами укладывают бетонные смеси в объёмные конструкции.

При транспортировании и укладке бетонных смесей ленточными конвейерами принимают меры по предотвращению расслаивания и потерь смесей и придерживаются таких правил: осадка конуса бетонных смесей не должна превышать 6 см; транспортёрная лента обязательна с резиновой обкладкой; максимальный угол наклона ленты транспортёра:

Наибольший угол наклона ленты транспортёра, град:		Смесь с осадкой конуса, см
при подъёме	при спуске	
18	12	≤ 4
15	10	4–6

Для укладки бетонных смесей применяют также секционные ленточные конвейеры, которые подают бетонные смеси как на малые, так и большие расстояния. Секции имеют автономный привод, а электроприводы их взаимно блокируются и связаны общим пультом [4, 5].

Опыт использования ленточных конвейеров для подачи и укладки смеси при бетонировании конструкций большой поверхности, отдельно стоящих элементов, а также при выполнении работ нулевого цикла показал их достаточную эффективность. Сравнительно небольшая масса конвейеров, возможность компоновки различных схем позволяет организовать технологический процесс направленной подачи смеси, равномерное распределение её по объёму при различной скорости транспортирования. Ленточные конвейеры значительно дешевле бетононасосов, просты и

надёжны в эксплуатации, не требуют квалифицированного обслуживающего персонала. Кроме этого, ими можно подавать смеси разнообразных реологических свойств и с любыми технологическими перерывами.

Скорость движения конвейерной ленты должна быть не более 2,5–3 м/с, что способствует поддержанию однородности разгружаемой смеси за счёт увеличения энергии соударения о стенки концевых отражателя и перемешивания при мгновенном гашении скорости. При скорости 1–3,5 м/с и полной загрузке ленты однородность бетонной смеси не нарушается. В то же время транспортирование смесей на конвейерной ленте приводит к потере подвижности приблизительно вдвое интенсивнее и пропорционально скорости движения. С увеличением подвижности смесей свыше 10 см транспортирование затрудняется вследствие разбрызгивания растворной составляющей.

**Наиболее распространены** секционные и наклонные передвижные мостовые **конвейеры**. Секционные конвейеры применяются при дальности транспортирования до 1–2 км, наклонные передвижные конвейеры позволяют подавать смесь на высоту до 10 м. Они монтируются на колёсной базе, что повышает их мобильность. Угол наклона таких конвейеров 20–30°. Загрузку ленточных конвейеров производят из автобетоносмесителей, поэтому приёмные устройства выполняют в виде лотков.

Мобильность и производительность конвейерных систем существенно повышаются при использовании автобетоносмесителей с раздаточными конвейерами и самоходных бетоноукладчиков, оснащённых конвейерным рабочим органом. **Бетоноукладчики** позволяют комплексно механизировать процессы подачи и укладки бетонной смеси, снизить долю ручного труда [4].

Самоходные ленточные бетоноукладчики обеспечивают подачу смеси на 3–9 м выше отметки стоянки машины и используются преимущественно для бетонирования конструкций нулевого цикла и невысоких зданий и сооружений.

С одной стоянки ленточный бетоноукладчик послойно укладывает и распределяет бетонную смесь в радиусе 3–20 м с поворотом конвейера на 360°.

Ленточные бетоноукладчики эффективно используются как при бетонировании отдельно стоящих небольшого объёма фундаментов, так и при возведении массивных и линейно протяжённых конструкций. В зависимости от принятой технологической схемы ленточный бетоноукладчик может располагаться за пределами котлована или внутри него.

Бетоноукладчики представляют собой самоходные машины на гусеничном ходу (рисунок 2.7, в). Из бетоновоза смесь разгружают в

приёмный вибробункер бетоноукладчика. Вибробункер со смесью поднимается с помощью гидроцилиндров и через секторный затвор смесь подают на транспортёр, состоящий из двух секций. Это позволяет вести бетонирование в радиусе 3–20 м с поворотом стрелы с транспортёром на 360°. Бетоноукладчики могут подавать смесь на высоту 8 м, а также опускать её ниже стоянки с уклоном транспортёра до 10°.

Бетоноукладчики рекомендуется применять для бетонирования рассредоточенных объектов (например, фундаментов под колонны), а также туннелей и других сооружений.

Транспортировать бетонную смесь горизонтально в пределах строительной площадки на небольшие расстояния можно **мототележками**, которые имеют сменные опрокидываемые ковши вместимостью 0,3 м<sup>3</sup>. Мототележка с грузом около 1 т передвигается со скоростью до 38 км/ч.

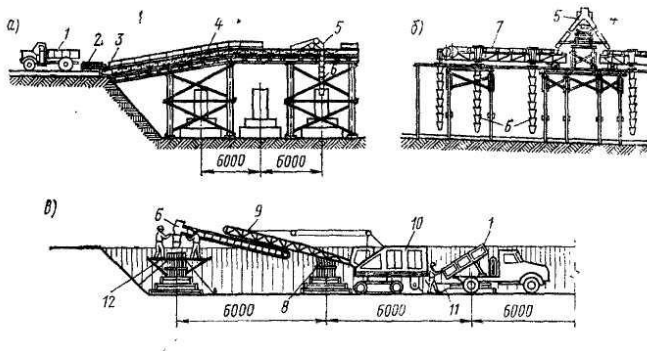


Рисунок 2.7 – Бетонирование с помощью транспортёров и бетоноукладчиков:  
*а, б* – подача бетонной смеси транспортёрами; *в* – бетоноукладчиком; 1 – автобетоновоз;  
 2 – вибробункер; 3 – вибропитатель; 4 – магистральный транспортёр; 5 – барабанный  
 сбрасыватель; 6 – коботы; 7 – распределительный транспортёр; 8 – опалубка; 9 – транспортёр;  
 10 – бетоноукладчик; 11 – приёмный бункер; 12 – подмости

Мототележки в связи с их мобильностью применяются для бетонирования полов, устройства подготовки и подбутки в стеснённых условиях. Они могут передвигаться по соответственно рассчитанным настилам и подмостям и подавать смесь непосредственно в опалубку плит перекрытий, стен и т. п.

## 2.5 Подача и распределение бетонной смеси по трубопроводам

### 2.5.1 Общие положения

По трубам транспортируют бетонную смесь с помощью бетононасосов и пневмонагнетателей.

**Бетононасосы** могут перекачивать бетонную смесь на 350 м по горизонтали и на 50 м по вертикали. Производительность поршневых бетононасосов 10, 25 и 40 м<sup>3</sup>/ч.

**Пневмоагнетатели** наиболее целесообразно использовать при дальности подачи смеси 120–150 м и высоте подъёма до 35 м, особенно в условиях, когда неизбежны интервалы при укладке бетонных смесей, а также при небольших объёмах работ. Производительность их 10–20 м<sup>3</sup>/ч.

Трубопроводный транспорт занимает ведущее место в бетонных работах. Он обеспечивает повышение производительности труда в 2–5 раз, снижение себестоимости и трудоёмкости укладки, высвобождение дефицитного времени дорогостоящих кранов.

**Транспортирование бетонной смеси по трубам** обеспечивает подачу её в густоармированные конструкции и труднодоступные для других средств механизации участки. Важным преимуществом этого способа является также возможность транспортирования бетонной смеси по горизонтали и вертикали без дополнительной перегрузки. Кроме того, при транспортировании не образуется цементное молоко и исключено воздействие атмосферных условий на бетонную смесь, что сохраняет её высокое качество и позволяет использовать оборудование в зимнее время. Бетононасосы с трубопроводами позволяют ликвидировать затраты ручного труда на разравнивание бетонной смеси.

Наибольшее распространение в современном строительстве получили бетононасосы поршневые периодического действия с механическим и гидравлическим приводами.

Современные бетононасосы позволяют подавать бетонные смеси на высоту более 300 м. Трубопроводный транспорт целесообразно использовать при укладке бетонной смеси в конструкции как с малым, так и с большим объёмом работ в тех случаях, где невозможна её подача строительными кранами, бетоноукладчиками и другим видом транспорта.

Наиболее мобильными и эффективными средствами транспортирования бетонных смесей являются гидравлические бетононасосы. Они обеспечивают:

- равномерную подачу смеси с заполнителем крупностью до 60 мм в стесненных условиях и в труднодоступные места на значительные расстояния и высоту;
- бетонирование густоармированных конструкций и конструкций сложной геометрической формы;
- сохранение однородности смеси и защиту от воздействия атмосферных осадков в процессе её подачи;
- плавную регулировку интенсивности укладки смесей.

Наиболее пригодны для перемещения по трубам смеси подвижностью 5–15 см. При перемещении малоподвижных смесей сопротивление движению может оказаться больше давления, развиваемого бетононасосом, что приводит к закупорке бетонопровода. При транспортировании литых

смесей подвижностью более 15 см вследствие их расслоения из-за избытка воды в трубопроводе могут образоваться пробки из крупного заполнителя.

Для обеспечения нормальной перекачиваемости бетонных смесей необходимо тщательно подбирать состав бетонной смеси. Рекомендуется использовать высокомарочные пластифицированные цементы, песок должен содержать не более 3–7 % мелких частиц крупностью до 0,14 мм и 15–20 % крупностью до 0,31 мм, доля песка в общей массе заполнителя должна составлять 32–50 % при использовании гравия и 40–60 %, когда используется щебень. Желательно применять крупный заполнитель с гладкой поверхностью, максимальный размер заполнителя не должен превышать  $1/3$  внутреннего диаметра бетонопровода. Положительный эффект достигается введением химических добавок (пластифицирующих, воздухововлекающих и замедлителей схватывания) в количестве 0,1–0,5 % по массе цемента. Соблюдение перечисленных требований обеспечивает хорошие условия перекачивания смеси.

Требования к бетонным смесям, предназначенным для транспортирования по трубопроводам, подробно изложены в разд. 2 и специальной литературе [6].

При движении бетонных смесей по трубопроводу у его стенок образуется тонкий пограничный слой из дисперсионной среды, которая представляет собой слой цементного теста с включениями песка. Общая толщина пристенного слоя составляет 1,5–8 мм. Остальная часть сечения трубопровода представляет собой недеформированное ядро без заметной дифференциации зёрен песка и щебня.

Толщина пристенного слоя при прочих равных условиях зависит от радиуса трубопровода. Минимальная толщина пристенного слоя определяется предельным отношением радиуса ядра потока  $r_{\text{я}}$  к радиусу трубопровода  $R$ . Это отношение должно быть не более 0,98. Перекачиваемость будет обеспечена при условии

$$r_{\text{я}} / R \leq 0,98.$$

Метод оценки удобоперекачиваемости бетонной смеси с примерами расчёта изложен в п. 2.5.3.

Для выбора бетононасоса и комплекта труб может быть использована номограмма, приведённая на рисунке 2.8. С помощью этой номограммы, зная интенсивность подачи, можно определить необходимые параметры бетононасоса – мощность и развиваемое давление.

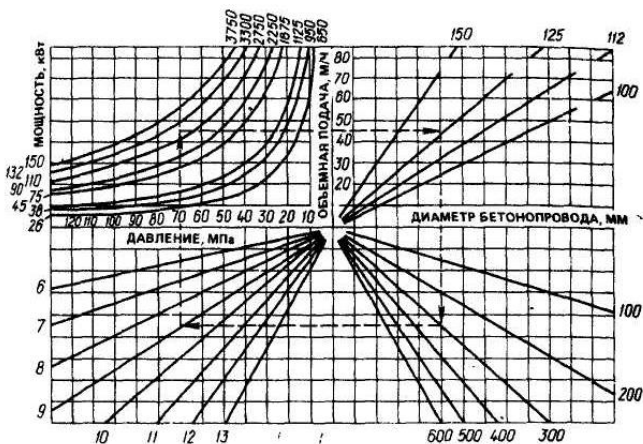


Рисунок 2.8 – Номограмма для определения технических характеристик бетононасосов

### 2.5.2 Требования к бетонным смесям, предназначенным для транспортирования по трубопроводам

1 Бетонные смеси, предназначенные для транспортирования по трубопроводам, должны обладать повышенной связностью, однородной структурой, удобоперекачиваемостью и обеспечивать получение требуемых физико-механических характеристик бетона (прочности при сжатии, водонепроницаемости, морозостойкости и т. д.). Под удобоперекачиваемостью бетонной смеси подразумевается её способность транспортирования по трубопроводу на предельные расстояния без расслоения и образования пробок под воздействием внешних сил (давления, создаваемого при поступательном движении поршня бетононасоса).

2 Состав бетонной смеси должен быть подобран таким образом, чтобы при её движении в бетоноводе постоянно сохранялся пристеночный смазочный слой, зёрна заполнителей не соприкасались между собой, а давление передавалось по жидкой фазе. Для выполнения этих требований необходимо, чтобы объём цементного теста превышал объём пустот смеси крупных и мелких заполнителей не менее чем на 40 л/м<sup>3</sup>. Такая смесь, как правило, имеет одновременно и высокую удобоукладываемость.

Бетонная смесь, имеющая межзерновую пустотность заполнителя (крупного и мелкого) большую чем объём цементного теста, перекачиванию не поддаётся.

3 Консистенция бетонной смеси на плотных заполнителях должна быть такой, чтобы под давлением, возникающим в трубопроводе при



перекачивании бетонной смеси, растворная часть не выдавливалась из скелета заполнителя. Рекомендуемая подвижность бетонной смеси (по величине осадки стандартного конуса) находится в пределах от 4 до 14 см и водоцементное отношение не выше 0,75. Оптимальная подвижность бетонной смеси, с точки зрения её удобоперекачиваемости, находится в пределах 6–8 см, а водоцементное отношение – 0,4–0,6.

4 Жёсткие, малоподвижные и литые несвязные бетонные смеси не пригодны для перекачивания по трубопроводам. При применении малоподвижных смесей сопротивление движению может оказаться больше давления, развиваемого бетононасосом, что приводит к остановке процесса транспортирования и закупорке бетонопроводов. При перекачивании литых бетонных смесей в результате их расслаивания из-за избытка свободной воды в трубопроводе также образуются пробки.

5 Для приготовления бетонных смесей рекомендуется применять портланд-, шлакопортланд- и пуццолановые цементы с нормальным или замедленным сроком схватывания. Наиболее благоприятным является применение пластифицированных цементов и цементов высоких классов с более тонким помолом. В последнем случае следует учитывать возможное сокращение сроков схватывания цементного теста, влияющее в сторону увеличения на сопротивление движению бетонной смеси и уменьшения продолжительности нахождения её в трубопроводе.

6 В качестве крупного заполнителя для бетонной смеси рекомендуется применять гравий или щебень неостроконечной формы.

Максимальный размер зёрен крупного заполнителя должен быть не более одной трети внутреннего диаметра бетоновода при использовании щебня и 0,4 – при использовании гравия.

7 Подбор состава бетонной смеси, подаваемой по трубам, должен осуществляться лабораторией строительства. Для определения оптимального состава задаются несколькими соотношениями между мелким и крупным заполнителями, при которых изготавливается бетонная смесь с минимальным расходом цемента и осадкой конуса. Затем путём постепенного добавления цементного теста и пробных перекачек бетононасосом проверяется удобоперекачиваемость смеси. Добавление отдельно цемента и воды также допускается при условии сохранения постоянства водоцементного отношения. За оптимальный состав принимается тот, который позволяет получить удобоперекачиваемую бетонную смесь и требуемый класс бетона при минимальном расходе цемента.

### 2.5.3 Расчётный метод ориентировочной оценки удобоперекачиваемости бетонной смеси

В построчных условиях оценкой удобоперекачиваемости бетонных смесей в процессе проведения работ может служить их способность всасываться без расслоения под воздействием атмосферного давления из приёмного бункера в транспортные цилиндры бетононасоса, в которых образуется вакуум при ходе поршня, соответствующем такту всасывания смеси.

Предварительная оценка удобоперекачиваемости может производиться по величине расхода в смеси цемента и пылеватых частиц.

Удобоперекачиваемость бетонной смеси можно характеризовать следующими показателями концентрации составляющих материалов:

– относительным водосодержанием цементного теста в сравнении с расходом воды при его нормальной густоте

$$X_{\text{ц}} = \frac{В/Ц}{K_{\text{нп}}};$$

– степенью заполнения межзернового пространства песка цементным тестом

$$X_{\text{п}} = \frac{V_{\text{т}}}{\Pi_{\text{п}}} \frac{V_{\text{т}}}{V_{\text{р}} \Pi_{\text{п}}};$$

– степенью заполнения пустот щебня растворной частью

$$X_{\text{щ(г)}} = \frac{V_{\text{б}}}{V_{\text{б}} \Pi_{\text{щ(г)}}},$$

где В/Ц – фактическое водоцементное отношение цементного теста в бетонной смеси;

$K_{\text{нп}}$  – водоцементное отношение цементного теста при его нормальной густоте (коэффициент нормальной густоты);

$V_{\text{т}}$  – абсолютный объём цементного теста в бетонной смеси;

$V_{\text{р}}$  – объём растворной части в бетонной смеси;

$V_{\text{б}}$  – объём бетонной смеси;

$\Pi_{\text{п}}$  и  $\Pi_{\text{щ(г)}}$  – межзерновая пустотность песка и щебня (гравия).

Определение удобоперекачиваемости бетонных смесей заключается в следующем: сначала определяются величины показателей  $X_{\text{ц}}$ ,  $X_{\text{п}}$ ,  $X_{\text{щ(г)}}$ , которые сравниваются с данными таблицы 2.1. Если полученные величины показателей удовлетворяют данным этой таблицы, то такие смеси обладают свойствами удобоперекачиваемости.

**Пример.** Требуется определить удобоперекачиваемость бетонной смеси и диаметр трубопровода для её перекачивания.

**Исходные данные:** Номинальный состав бетона (на 1 м<sup>3</sup> бетона): цемента – 400 кг, песка – 574 кг, щебня – 1168 кг и воды – 210 л.

Песок применён с модулем крупности  $M_{кр} = 2,163$ , насыпной плотностью 1563 кг/м<sup>3</sup> и средней плотностью 2700 кг/м<sup>3</sup>; щебень – насыпной плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup> и средней плотностью 2500 кг/м<sup>3</sup>, крупностью 20–25 мм; портландцемент ЦЕМ I 53,5 Н, средней плотностью 3100 кг/м<sup>3</sup> и  $K_{шт} = 0,24$ .

**Р е ш е н и е**

1 Определяем абсолютные объёмы составляющих бетонной смеси:

$$\text{– цемента} \quad V_{ц} = \frac{400}{3,1} = 129 \text{ л};$$

$$\text{– песка} \quad V_{п} = \frac{574}{2,7} = 212 \text{ л};$$

$$\text{– щебня} \quad V_{щ} = \frac{1168}{2,7} \cdot 0,5 = 465 \text{ л};$$

$$\text{– воды} \quad V_{в} = 210 \text{ л}.$$

2 Рассчитываем абсолютный объём цементного теста:

$$V_{т} = V_{ц} + V_{в} - V_{вп} = 129 + 210 - 0,01 \cdot (574 + 1168) = 322 \text{ л},$$

где  $V_{вп}$  – объём воды, необходимый для заполнения пор заполнителя, который определяется лабораторным путём. Для приближённой оценки  $V_{вп}$  можно принять в пределах 1–1,5 % от общей массы заполнителей.

3 Находим объём растворной части бетонной смеси:

$$V_{р} = V_{т} + V_{п} = 322 + 212 = 534 \text{ л}.$$

4 Определяем пустотность песка и щебня:

$$\Pi_{п} = \frac{1,563}{2,7} = 0,42 \text{ л}, \quad \Pi_{щ} = \frac{1,4}{2,5} = 0,44 \text{ л}.$$

5 Проверяем объём бетонной смеси:

$$V_6 = V_p + V_{ш} = 534 + 465 = 999 \text{ л.}$$

6 Затем определяем показатели удобоперекачиваемости:

$$X_{ц} = \frac{210}{400 \cdot 0,24} = 2,19 \text{ л; } X_{п} = \frac{322}{534 \cdot 0,4} = 1,44 \text{ л.; } X_{ш} = \frac{534}{999 \cdot 0,44} = 1,21 \text{ л.}$$

Сравнив полученные значения  $X_{ц}$ ,  $X_{п}$ ,  $X_{ш}$  смеси с данными таблицы 2.1, можно сделать вывод, что указанную бетонную смесь можно транспортировать бетононасосом по трубопроводу внутренним диаметром 100 мм и более.

Таблица 2.1 – Характеристика бетонных смесей для транспортирования по трубопроводам различных диаметров

Показатель	Диаметр трубопроводов, мм					
	69	80	100	125	150	200
Водосодержание цемента $X_{ц}$	1,2–2,4	1,2–2,4	1,2–2,4	1,2–2,4	1,2–2,4	1,2–2,4
Степень заполнения цементным тестом пустот в песке $X_{п}$	1,1–,9	1,1–1,9	1,1–1,9	1,1–1,9	1,1–1,9	1,1–1,9
Степень заполнения раствором пустот в крупном заполнителе $X_{щ(г)}$	1,7–1,9	1,3–1,9	1,2–1,9	1,2–1,9	1,1–1,9	1,1–1,9
Количество фракций крупного заполнителя, %:						
5–10 мм	80	40–60	40–60	30–40	30–40	30–40
10–20 мм	20	40–60	40–60	50–60	50–60	40–50
20–40 мм	-	-	-	До 10	10–20	До 20
40–70 мм	-	-	-	-	-	До 10
Минимальный расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	300	300	300	300	250	250
Расход песка, кг/м <sup>3</sup>	930–1000	730–1000	730–1000	700–900	600–800	600–800
Расход щебня (гравия), кг/м <sup>3</sup>	500–800	850–1050	850–1050	900–1000	1000–1200	1050–1350
Отношение $\frac{\Pi}{\Pi + Щ(Г)}$	0,65–0,7	0,4–0,7	0,4–0,7	0,4–0,6	0,32–0,45	0,32–0,45
Осадка стандартного конуса, см	8–15	8–15	4–15	2–15	2–15	2–15

### 2.5.4 Укладка бетонной смеси бетононасосными установками

Укладку бетонных смесей бетононасосными установками следует рассматривать как комплексный процесс, включающий приёмку, подачу и распределение бетонной смеси, при котором выполняют следующие операции: монтаж и демонтаж бетонопровода; установку средств для распределения бетонной смеси; подготовку к эксплуатации бетононасоса; транспортирование бетонной смеси по трубам; ликвидацию пробок в случае их образования в процессе перекачивания смеси; очистку оборудования в конце работы.

Схема прокладки бетонопровода от бетононасоса до места укладки смеси должна содержать минимальное число поворотных участков и иметь минимально допустимую для конкретных условий строительства протяжённость. Бетонопровод должен быть смонтирован таким образом, чтобы он не мешал установке опалубки, арматуры, закладных частей, а также выполнению других смежных работ. Горизонтальные участки бетонопровода монтируют с небольшим уклоном в сторону участка, предназначенного для спуска воды после промывки. При необходимости плавно изменять длину бетонопровода в процессе перекачивания бетонной смеси в схеме трубопроводов предусматривают компенсатор, который выполняют из системы инвентарных колен под углом  $90^\circ$  и прямых звеньев.

Бетоновод (рисунок 2.9, в) собирают из отдельных инвентарных трубчатых звеньев, входящих в комплект бетононасоса. В зависимости от производительности бетононасоса внутренний диаметр бетоноводов может быть от 140 до 280 мм (приложение Е).

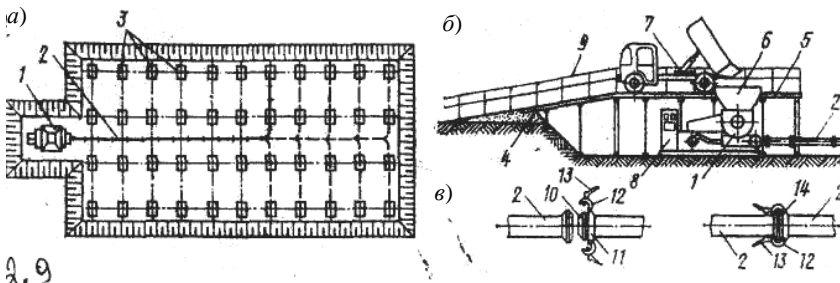


Рисунок 2.9 – Подача бетонной смеси бетононасосами:

- а – бетонирование фундаментов с помощью бетононасосов; б – установка бетононасоса;
- в – соединение бетоновода; 1 – бетононасос; 2 – бетоновод; 3 – фундаменты; 4, 5 – эстакада;
- 6 – приёмная воронка; 7 – автобетоновоз; 8 – пульт; 9 – ограждение; 10 – фланец;
- 11, 14 – замок в открытом и закрытом положении; 12 – серьга; 13 – рычаг

Звенья соединяют между собой с помощью быстроразъёмных 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 °.

Бетоновод монтируют на деревянных подкладках или инвентарных эстакадах начиная от бетононасоса в сторону блока бетонирования. К бетоно-насосу должен примыкать прямой участок бетоновода в 7–10 м, трассу его выбирают так, чтобы уменьшить число изгибов и переломов с целью уменьшить сопротивление смеси при движении по трубам и обеспечить оптимальную работу бетононасоса. В конце прямого участка, примыкающего к бетононасосу, устанавливают игольчатый клапан для устранения обратного движения смеси при остановке бетононасоса.

У выходного торца бетоновода устанавливают гаситель и поворотный лоток. Если высота сбрасывания смеси превышает 3 м, для предотвращения её расслаивания дополнительно ставят звеньевые хоботы.

Укладку бетонной смеси с помощью бетононасоса начинают в опалубку конструкций, наиболее удалённых от него (рисунок 2.10). Забетонировав дальние конструкции, бетоновод укорачивают и переставляют для укладки бетонной смеси в близлежащие конструкции. Такую организацию работ называют бетонирование способом «на себя». Этот способ позволяет перенастраивать бетоноводы почти без остановок бетононасоса или с очень короткими остановками.

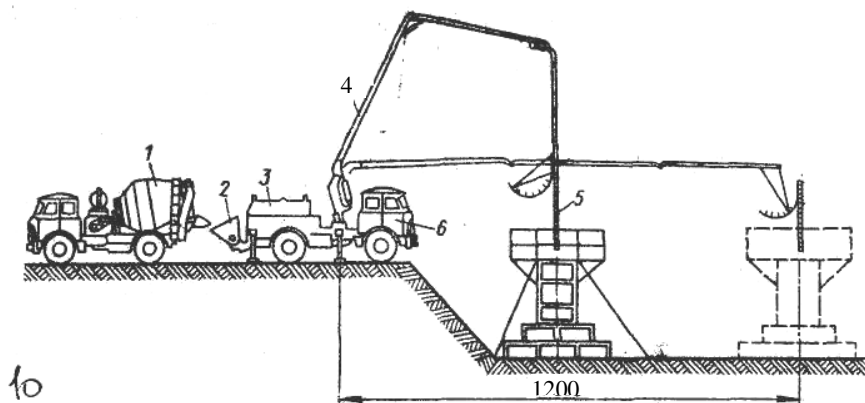


Рисунок 2.10 – Самоходный бетононасос:

- 1 – автобетоносмеситель; 2 – приёмный бункер бетононасоса; 3 – бетононасос;
- 4 – шарнирносочленённая стрела; 5 – гибкий шланг-бетоновод;
- 6 – базовый автомобиль

Трубопроводный транспорт весьма чувствителен к остановкам и перерывам, из-за которых бетонная смесь в трубопроводах загустевает и частично схватывается. Это вызывает аварии и значительные производственные затраты по разборке и очистке бетонопроводов. По этой причине доставка бетонной смеси бетоновозами должна быть бесперебойной, а бетонирование каждой конструкции здания нужно вести непрерывно.

В качестве специализированного оборудования для распределения бетонной смеси в комплекте с бетононасосами используют распределительные стрелы и механические манипуляторы. Распределительные стрелы (рисунок 2.11) устанавливают на объекте в зоне бетонированной захватки и соединяют с бетононасосом магистральным трубопроводом.

Устойчивость распределительных стрел обеспечивается за счёт их прикрепления к несущим элементам конструкций или специальным опорам, а также с помощью противовеса или балласта.

Механические манипуляторы используют при необходимости многократных перестановок специализированного оборудования для распределения бетонной смеси, а также при бетонировании

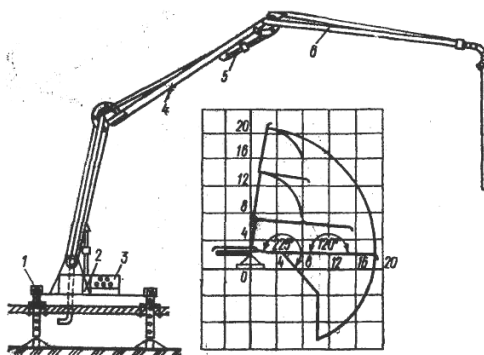


Рисунок 2.11 – Автономная распределительная стрела:  
 1 – выносная опора; 2 – опорно-поворотное устройство;  
 3 – пульт управления; 4 – секция стрелы;  
 5 – гидроцилиндр; 6 – бетонопровод

скользящей опалубке башенных сооружений с размерами в плане не более  $25 \times 25$  м. Манипуляторы устанавливают на рамную опору и удерживают от опрокидывания с помощью балласта. Бетонопровод устанавливают на прочных опорах: деревянных или металлических прокладках, козлах, инвентарных трубчатых стойках, подмостях таким образом, чтобы под каждым звеном находилось не менее одной опоры и обеспечивался доступ к соединениям звеньев. Провисание бетонопровода между опорами не допускается. При опирании бетонопровода на элементы опалубки или арматуру необходимо учитывать его массу с бетонной смесью и динамические усилия при перекачивании, которые не должны превышать допустимых нагрузок на поддерживающие конструкции.



Технические характеристики бетононасосных установок приведены в приложении Е и [4–7].

Наиболее мобильными являются автобетононасосы, насосы в комплекте с автобетоносмесителями, а также прицепные насосы и автобетононасосы-автобетоносмесители [4]. Автономность работы и высокая маневренность установки позволяет успешно использовать их при бетонировании рассредоточенных объектов с небольшими объёмами работ.

Характеристики автобетоносмесителей приведены в приложении Ж.

## **2.6 Пневмотранспорт бетонной смеси**

Пневмонагнетатели применяют для укладки бетонных смесей с помощью трубопроводов при небольших объёмах работ.

Пневматическая подача бетонной смеси используется в тех случаях, когда традиционные методы не эффективны. Развитие пневмосистем идёт по пути создания агрегатов, объединяющих функции транспортирования и укладки бетонных смесей. К ним относятся установки торкрет-бетона и пневмонагнетательные системы, обеспечивающие нанесение слоёв смеси небольшой толщины в труднодоступные места (обделки проходок тоннелей, штолен и т. п.).

Пневматический транспорт находит широкое применение при подаче бетонных смесей на плотных и лёгких заполнителях. Он используется на объектах с интенсивностью бетонирования 5–10 м<sup>3</sup>/ч. Используют как обычные пневмонагнетатели, так и смесительно-нагнетательные установки.

Принцип действия пневмонагнетателей основан на выдавливании сжатым воздухом порций бетонных смесей, предварительно загруженных в герметически закрываемый стальной резервуар.

Особо жёстких требований к бетонным смесям по составу при пневмотранспортировании не предъявляют. Требования предъявляют лишь по подвижности смеси и крупности заполнителей, зависящей от диаметра бето-новода. Крупность заполнителей не должна превышать 0,3–0,35 диаметра бетоновода, подвижность – 6–8 см по стандартному конусу. Разработаны пневмонагнетатели, укладывающие в опалубки бетонные смеси с осадкой конуса 2–3 см и выше.

Для увеличения дальности подачи бетонных смесей применяют дополнительную эжекцию сжатого воздуха по длине бетоновода, позволяющую укладывать бетонную смесь на расстоянии 400–500 м.

Недостатки пневмоустановок: цикличность работы, необходимость в компрессорных установках, ресивере. Преимущественно применяют пневмонагнетательные установки в туннельном строительстве, где

динамическое давление смесей при укладке способствует лучшему их прониканию за опалубку туннельных обделок. Пневмоустановки применяют также при бетонировании подпорных и противообвальных стен. Их целесообразно применять и для бетонирования тонкостенных конструкций без опалубки.

## **2.7 Выбор комплекта машин для транспортирования, подачи и укладки бетонной смеси**

Технические средства для транспортирования, подачи и укладки бетонных смесей позволяют создать необходимый комплект машин с учётом экономических и технологических показателей производства. Технические и технологические характеристики механизированных средств не могут рассматриваться отдельно от технологии ведения работ, объёмов производства, сроков выполнения и особенностей ведения работ. Выбор машин и механизмов является многокритериальной задачей, решение которой позволяет оптимизировать процесс возведения монолитных конструкций, зданий и сооружений. В основу оптимизации должен быть положен прежде всего экономический критерий, который определяет показатель себестоимости укладки  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси. В ряде случаев следует пользоваться такими критериями, как продолжительность и срок возведения, а также трудоёмкость работ.

На практике при возведении монолитных конструкций используются следующие комплекты машин и механизмов: башенный или стреловой кран, бадья, автобетоновоз или автобетоносмеситель; самоходный бетоноукладчик, бадья, автобетоносмеситель; башенный кран, бетононасос с распределительной стрелой; бетононасосный транспорт, автобетоносмеситель, бетоновоз; автобетоносмеситель-бетоноукладчик; автобетоносмеситель-бетононасос.

Каждый из перечисленных комплектов имеет различную производительность, стоимость эксплуатации, дополнительные затраты на устройство подъездных путей, специальных площадок для приёма бетонной смеси и т. д. Каждый комплект имеет ведущую машину, по производительности которой определяют необходимое число вспомогательных средств.

Механизированная укладка и распределение бетонной смеси имеют технико-экономические показатели одного и того же порядка. Трудоёмкость подготовительных и вспомогательных работ значительно выше при использовании бетононасосов различных марок, что делает их применение целесообразным только при максимальной сменной загрузке. Меньшими по себестоимости и трудовым затратам являются ленточные бетоноукладчики и пневмонагнетатели, т. е. машины, у которых объём вспомогательных работ невелик. Поэтому при кажущемся преимуществе трубопроводного транспорта его применение экономически оправдано только в случае

выполнения больших объёмов работ или при обслуживании нескольких объектов.

При выборе бетононасосного транспорта требуется прежде всего учитывать технологические факторы: интенсивность бетонирования, максимальную высоту и дальность подачи, состав укладываемой бетонной смеси и режим её перекачиваемости. Укладку бетонной смеси с помощью бетононасосных установок следует рассматривать как комплексный процесс, включающий монтаж и демонтаж бетонопровода, установку средств для распределения бетонной смеси, подготовку и эксплуатацию бетононасоса, приёмку смеси в бункер насоса, подачу и распределение её в конструкции, а также очистку бетононасосного оборудования после завершения работы.

Производительность бетононасосов должна обеспечивать заданный темп укладки бетонной смеси, который может быть определён из условий директивного срока и общего объёма укладываемого бетона.

Анализ работы механизированных комплексов на основе автобетононасоса и с использованием средств на основе крана и ленточного бетоноукладчика показывает, что удельные трудовые затраты снижаются с увеличением среднечасовой производительности бетоноукладочных агрегатов, причём наибольшие удельные затраты приходятся на технологии, базирующиеся на использовании в качестве ведущей машины кранов КБ. 160.2 и К-161. Использование бетоноукладочных комплексов на базе бетононасоса с доставкой смесей автобетоносмесителями существенно повышает их показатели, которые стремятся к максимуму при достижении часовой производительности, близкой к эксплуатационной.

Примеры расчёта такого комплекта приведены в подразд. 2.8 и 2.9.

При средней производительности более  $16 \text{ м}^3/\text{ч}$  комплекты на основе автобетононасоса более эффективны, чем при использовании башенных и стреловых кранов или ленточных бетоноукладчиков. Однако такая производительность в ряде случаев не может быть обеспечена вследствие отсутствия необходимого фронта работ. Так в монолитном домостроении средняя интенсивность укладки бетона составляет  $36\text{--}40 \text{ м}^3/\text{смену}$ , при возведении отдельно стоящих фундаментов промышленных зданий  $20\text{--}60 \text{ м}^3/\text{смену}$  и только в отдельных случаях она может достигать более высоких значений.

При интенсивности бетонирования до  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  экономически целесообразно использовать комплекты на базе кранов, а до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$  – ленточных бетоноукладчиков. В каждом конкретном случае необходима детальная экономическая оценка эффективности принятой технологии ведения работ.

Примеры комплектов машин и оборудования, обеспечивающие наиболее интенсивное и экономичное производство бетонных работ нулевого цикла и возведение жилого здания точечного типа, приведены в приложении II и литературе [4].

## 2.8 Определение эксплуатационной среднечасовой производительности бетононасосных установок

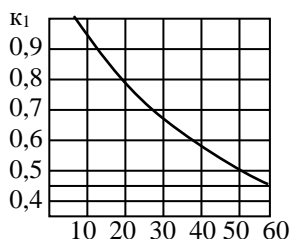
Эксплуатационная производительность бетононасосных установок зависит от принятой схемы загрузки бетонной смеси в приёмный бункер, величины давления в трубопроводе, вида конструкции и ряда других факторов, влияние которых может быть выражено формулой

$$P_3 = P_T \cdot K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6,$$

где  $P_T$  – техническая производительность насоса, м<sup>3</sup>/ч, [6];

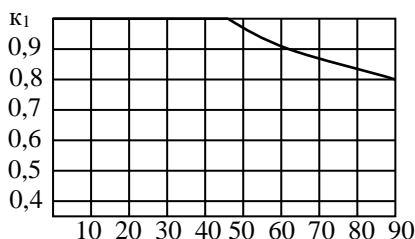
$K_1$  – коэффициент снижения производительности бетононасосов при использовании перегрузочных бункеров, принят по рисунку 2.12;

а)



Техническая производительность,  
м<sup>3</sup>/ч

б)



Техническая производительность,  
м<sup>3</sup>/ч

Рисунок 2.12 – Снижение интенсивности подачи бетонной смеси бетононасосами при использовании одного (а) и двух (б) перегрузочных бункеров

$K_2$  – коэффициент использования мощности бетононасосов в зависимости от вида бетонируемой конструкции при использовании перегрузочных бункеров. Значение коэффициентов при бетонировании отдельно стоящих конструкций ( $K_{21}$ ), стен ( $K_{22}$ ) и плит ( $K_{23}$ ) приведены в [6] и на рисунке 2.13, в качестве примера приведены графики для определения значений этих коэффициентов при эксплуатации стационарного бетононасоса;

$K_3$  – коэффициент снижения производительности бетононасосов, зависящий от величины давления в трубопроводе [6];

$K_4$  – коэффициент, учитывающий потери времени на ежесменный уход за бетононасосной установкой и её техническое обслуживание,  $K_4 \approx 0,93$  [6];

$K_5$  – коэффициент, учитывающий квалификацию машиниста;

$K_5 = 0,95$  – при эксплуатации стационарных бетононасосов и  $K_5 = 0,90$  – самоходных стреловых установок;

$K_6$  – коэффициент снижения производительности бетононасосов из-за различных технологических причин [6],

$$K_6 = \frac{t}{t + \sum t_i},$$

где  $t$  – продолжительность бетонирования конструкции или элемента возводимого сооружения при технической производительности бетононасоса,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\sum t_i$  – суммарная продолжительность перерывов в работе бетононасоса, связанных: с перебазировкой установки с объекта на объект или внутри объекта при изменении места её стоянки; монтажом трубопровода, опалубки и арматуры; обеденными и прочими перерывами в работе персонала, обслуживающего бетононасос.

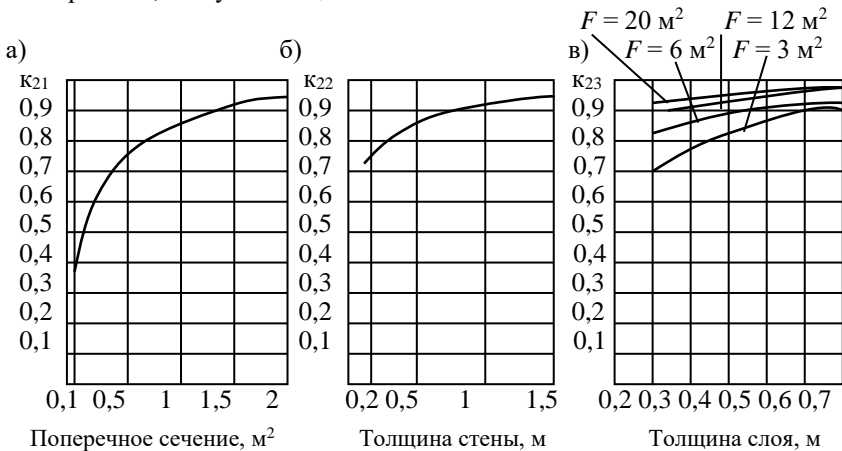


Рисунок 2.13 – Снижение интенсивности подачи бетонной смеси стационарными бетононасосами производительностью до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ . при использовании перегрузочных бункеров:

а – отдельно стоящие конструкции; б – стены; в – горизонтально-плоскостные элементы сооружений площадью  $F$

**Пример.** Требуется рассчитать эксплуатационную сменную производительность автобетононасоса БН-80-20, принятого с учётом дальности транспортирования бетонной смеси, диаметра бетоновода, характеристик бетонной смеси и производительности.

Исходные данные:  $P_T = 65 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $K_1 = 0,86$ ;  $K_2 = 0,82$ ;  $K_3 = 0,6$ ;  $K_4 = 0,93$ ;  $K_5 = 0,9$ ;  $K_6 = 0,75$ .

Определяем эксплуатационную производительность:

$$P_3 = P_T K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 = 65 \cdot 0,86 \cdot 0,82 \cdot 0,6 \cdot 0,93 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 17 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

## 2.9 Расчёт необходимого количества автобетоносмесителей, способных обеспечивать полную загрузку бетононасоса

Во избежание перерывов в работе бетононасоса необходимо обеспечить бесперебойную его загрузку путём чёткой работы автобетоносмесителей.

Необходимое количество автобетоносмесителей, способных обеспечить полную загрузку бетононасоса определяется по формуле

$$N = \frac{(t_1 + t_2)Q}{60W} + 1,$$

где  $t_1$  – время загрузки и выгрузки автобетоносмесителя, мин;

$t_2$  – время пребывания автобетоносмесителя в пути по маршруту: бетонный завод – бетононасос – бетонный завод, мин;

$Q$  – эксплуатационная производительность бетононасоса, интенсивность бетонных работ, м<sup>3</sup>/ч/;

$W$  – полезная вместимость барабана автобетоносмесителя, м<sup>3</sup>.

Исходные данные для определения потребного количества автобетоносмесителей:

– время загрузки автобетоносмесителя – 10 мин;

– время разгрузки автобетоносмесителя – 8 мин;

– средняя скорость движения автобетоносмесителей – 40 км/ч;

– время нахождения автобетоносмесителей в пути от бетонного завода до бетононасоса на стройплощадке – 20 мин;

– полезная вместимость барабана автобетоносмесителя – 3,5 м<sup>3</sup>.

Технические характеристики автобетоносмесителей или других средств транспортирования бетонных смесей могут быть приняты по приложению Ж и [5, 8].

**Пример.** Требуется рассчитать необходимое количество автобетоносмесителей, способных обеспечить полную загрузку автобетононасоса БН-80-20 (по предыдущему примеру).

$$N = \frac{(t_1 + t_2)Q}{60W} + 1 = \frac{(10 + 8 + 20 \cdot 2) \cdot 17}{60 \cdot 3,5} + 1 = 5,965$$

Принимаем 6 автобетоносмесителей.

Схемы организации работ с помощью автобетононасоса и крана приведены на рисунке 2.14 и в приложении К.

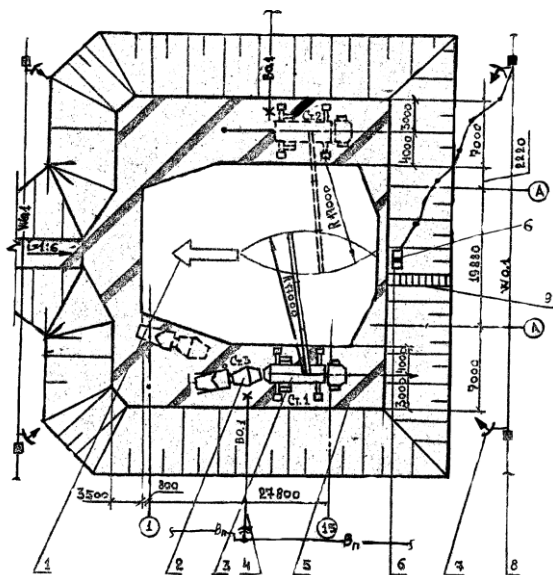


Рисунок 2.14 – Схема организации работ с помощью автобетононасоса:

- 1 – общее направление работ; 2 – автобетоносмеситель; 3 – автобетононасос;
- 4 – временный водопровод; 5 – временная автодорога;
- 6 – электрорубильник; 7 – прожекторное освещение;
- 8 – временная электролиния; 9 – лестница

### 3 БЕТОНИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

#### 3.1 Бетонирование фундаментов

В малоармированные фундаменты и массивы укладывают бетонную смесь с осадкой конуса 1–3 см и крупностью заполнителя до 70 мм, в густоармированные – с осадкой конуса 3–6 см и крупностью, не превышающей 1/3 наименьшего расстояния между арматурными стержнями. В массивные фундаменты укладывают бетон на цементе с низкой экзотермией, для того чтобы уменьшить температурные деформации конструкций и исключить их растрескивание.

Способы бетонирования фундаментов выбирают с учётом их заглубления, объёма и числа на одном объекте. В фундаменты под колонны зданий объёмом до 15 м<sup>3</sup> бетонную смесь подают по виброжелобам, заглубляя их, а также бетоноукладчиками, транспортерами, в бадьях кранами.

В ступенчатые фундаменты с общей высотой до 3 м и площадью нижней ступени до 6 м<sup>2</sup> смесь подают через верхний урез опалубки (рисунок 3.1, а), предусматривая меры против смещения анкерных болтов и закладных деталей.

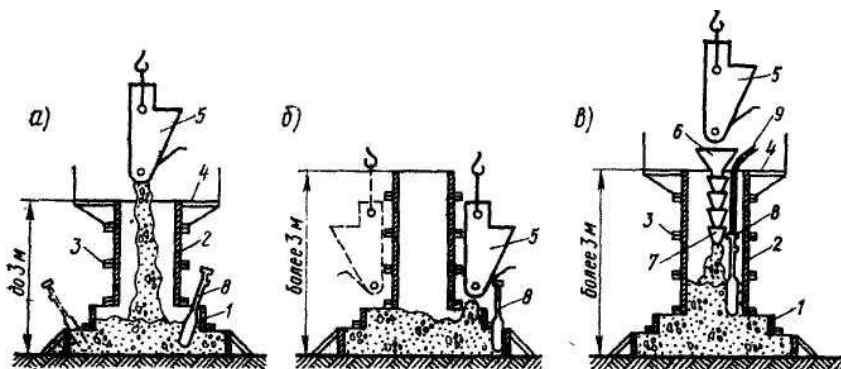


Рисунок 3.1 – Бетонирование ступенчатых фундаментов:

*а* – высотой до 3 м; *б, в* – высотой более 3 м; 1 – опалубка ступени; 2 – опалубка пилона; 3 – схватки; 4 – настил; 5 – бадья; 6 – приёмная воронка; 7 – звеньевой хобот; 8 – внутренний вибратор; 9 – верёвка

При виброуплотнении внутренние вибраторы погружают в смесь через открытые грани нижней ступени и переставляют их по периметру ступени в направлении к центру фундамента. Аналогично ведут виброуплотнение бетона второй и третьей ступеней, после чего их заглаживают.

В этих случаях, когда высота пилона фундамента небольшая, применяют малоподвижные бетонные смеси (осадка конуса до 3 см). Пилоны можно бетонировать сразу же после окончания бетонирования ступеней. Смесь в пилон подают через верхний урез опалубки. Уплотняют её внутренними вибраторами, опуская их сверху. Особенно тщательно надо вести виброуплотнение в углах и на перегибах опалубки, а также в местах армирования и вблизи закладных деталей.

При высоте ступенчатых фундаментов более 3 м и площади нижней ступени более 6 м<sup>2</sup> первые порции бетонной смеси подают в нижнюю ступень по периметру (рисунок 3.1, б). В последующем смесь подают через приёмный бункер и звеньевые хоботы (рисунок 3.1, в). Виброуплотнение смеси ведут, как и в предыдущем случае, внутренними вибраторами.

Бетонировать высокие пилоны при осадке конуса смеси, равной 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.

### 3.2 Бетонирование стен (перегородок)



Особенность бетонирования стен и перегородок зависит от их толщины и высоты; степени армирования; вида опалубки, используемой для их возведения; методов подачи и уплотнения смесей (рисунок 3.2, а–з).

Наибольшее распространение получили послойное бетонирование слоями высотой 30–50 см и уплотнение её глубинными вибраторами. Толщина послойно бетонируемых элементов должна быть не менее 100 мм. Для получения высокого качества поверхностей и однородной структуры бетона требуются тщательная проработка вибрированием и равномерная подача бетонной смеси.

В стены толщиной более 0,5 м и при слабом армировании укладывают бетонную смесь с осадкой конуса 4–6 см и крупностью заполнителя до 60 мм. При длине более 15 м стены делят на участки по 7–10 м, с тем, чтобы за смену можно было забетонировать без перерыва целое число участков. Деревянную разделительную опалубку, устанавливаемую на границах участков без разрезки арматуры, устраивают так, чтобы в стене образовались шпонки (рисунок 3.3, а). Вместо деревянной можно устанавливать сетчатую разделительную опалубку, которую оставляют в бетоне.

На рисунке 3,2 представлены схемы бетонирования с применением вибробункера (а), системы погруженных лопастных вибраторов (б), телескопических лопастных вибраторов (в).

При высоте стен до 3 м бетонную смесь разгружают непосредственно в опалубку в несколько точек по длине участка. Для подачи смеси используют виброжелоба, если стены заглублены, или бадьи, подаваемые кранами (рисунок 3.3, б). Бетонируют стены горизонтальными слоями толщиной 0,35–0,4 м.

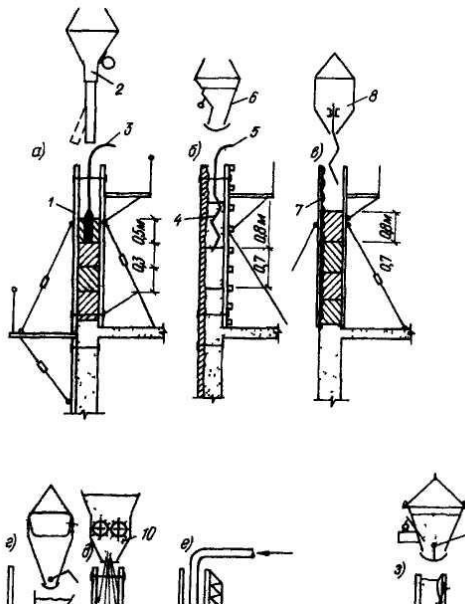


Рисунок 3.2 – Технологические схемы бетонирования стен:

1 – крупнощитовая опалубка; 2 – вибробункер с гибким хоботом; 3 – глубинный вибратор;  
4 – несъемная панель опалубки; 5 – лопастной вибратор; 6 – бункер с пульсирующей стенкой;  
7 – матрица опалубки; 8 – бункер с телескопическими вибраторами; 9 – подвижный щит с  
вибробункером; 10 – роторная метательная головка; 11 – бетононасос; 12 – пульсирующая  
опалубка

Не рекомендуется подавать смесь в одну точку стены, перемещая её внутри опалубки вибраторами (рисунок 3.3, в). В этом случае образуются наклонные рыхлые слои, снижающие качество бетона. Уплотняют смесь внутренними вибраторами с обязательным погружением рабочей части в ранее уложенный слой.

В стены высотой более 3 м смесь подают через воронки по звеньевым хоботам. Вибраторы для уплотнения нижних слоёв опускают на верёвках.

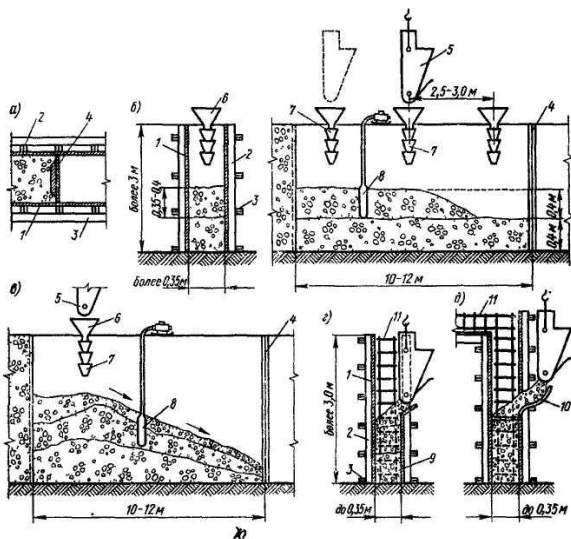


Рисунок 3.3 – Бетонирование стен:

*а* – установка разделительной опалубки; *б* – послойное бетонирование стен; *в* – неправильное бетонирование стен с подачей бетонной смеси в одну точку; *г*, *д* – бетонирование высоких и густоармированных стен; 1 – опалубка; 2 – усиливающие ребра опалубки; 3 – схватка; 4 – организация рабочего шва; 5 – бадья; 6 – приёмная воронка; 7 – звеньевой хобот; 8 – вибратор; 9 – слой бетона; 10 – карман; 11 – арматура

В тонкие и густоармированные стены (перегородки) укладывают бетонную смесь с осадкой конуса 6–10 см и крупностью заполнителя до 20 мм. При их толщине до 0,15 м бетонирование ведут ярусами высотой до 1,5 м. Опалубку таких стен возводят с одной стороны на всю высоту, а с другой – только на высоту яруса. Арматуру устанавливают на всю высоту. Бетонную смесь подают и уплотняют вибраторами со стороны низкой опалубки (рисунок 3.3, *г*). После бетонирования яруса опалубку наращивают на высоту второго слоя и т. д. Если поярусно установить опалубку невозможно, бетонную смесь в тонкие стены подают через специальные окна и карманы (рисунок 3.3, *д*).

Метод подвижных щитов (см. рисунок 3.2, *г*) обеспечивает равнопрочность по всей площади и толщине конструкций за счёт интенсивной вибрационной обработки смеси. Из-за отсутствия внутренней ограждающей поверхности опалубки используют жёсткие бетонные смеси, обеспечивающие сохранение формы после её виброуплотнения.

Перспективным способом укладки и уплотнения малоподвижных бетонных смесей на плотных и пористых заполнителях является метод механического набрызга. Используя бункер с роторными метателями (см. рисунок 3.2, *д*), можно объединить процесс укладки и уплотнения смесей в одном механизме.

Способ нагнетания (см. рисунок 3.2, *е*, *ж*) основан на подаче под давлением 1–1,2 МПа в полость между щитами опалубки бетонной смеси.

Для создания требуемого давления и транспортирования смесей используют бетононасосы. Способ нагнетания позволяет производить бетонирование по высоте со скоростью до 0,5 м/мин, но требует применения силовых опалубочных форм. Опыт производства объёмных блоков из керамзитобетона показывает его достаточно высокую эффективность и возможность использования в монолитном домостроении.

Повышение качества конструкций и интенсификация бетонирования достигаются путём использования пульсирующих опалубочных систем (см. рисунок 3.2, з). Пульсирующий щит опалубки позволяет совместить процессы укладки и уплотнения смесей, увеличить скорость бетонирования. Однако самое значительное преимущество этой системы – возможность получения высококачественных лицевых поверхностей и однородной структуры бетонов. Режимы пульсации с частотой 10–12 Гц и амплитудой до 5 мм обеспечивают интенсивное уплотнение за время обработки 20–30 с бетонных смесей на плотных и пористых заполнителях с осадкой конуса 4–6 см и выше.

Рациональной областью применения таких систем считают бетонирование густоармированных тонкостенных конструкций (лифтовые шахты, стенки и ядра жёсткости), а также элементы наружных стен (подоконные области), требующие более тщательной вибропроработки бетонных смесей.

### 3.3 Бетонирование колонн, ребристых перекрытий, рам

Для бетонирования густоармированных колонн сечением  $0,6 \times 0,6$  м и менее применяют бетонную смесь с осадкой конуса 6–8 см и крупностью заполнителя до 20 мм. При слабом армировании и большем сечении колонн осадку конуса можно снизить до 4–6 см, а крупность увеличить до 40 мм. (рисунок 3.4).

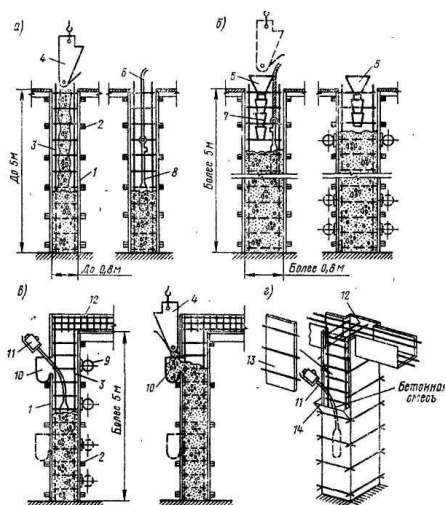


Рисунок 3.4 – Бетонирование колонн:

*a* – бетонирование колонн высотой до 5 м; *б* – то же, при высоте более 5 м; *в, г* – то же, с густой арматурой балок; 1 – опалубка; 2 – хомут; 3 – арматура; 4 – бадья; 5 – приёмная воронка; 6 – верёвка; 7 – звеньевой хобот; 8 – вибробулава; 9 – наружный вибратор; 10, 14 – карманы; 11 – вибратор с гибким валом; 12 – арматура балки; 13 – съёмный щит

Если над колоннами распложены балки и прогоны с густой арматурой, которая затрудняет подачу бетонной смеси в них сверху, бетонировать колонны разрешается до установки арматуры балок.

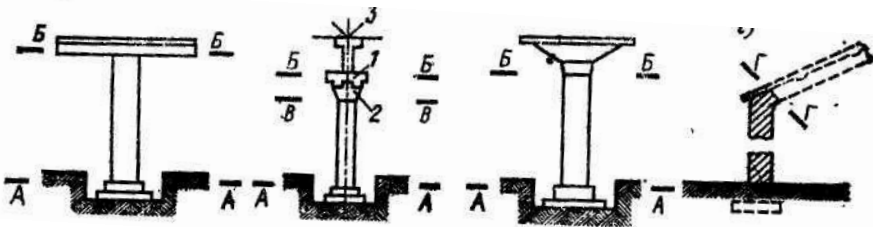
Перед бетонированием колонн необходимо расчистить стыки и уложить слой жирного цементного раствора толщиной 3–5 см.

Колонны высотой до 5 м со сторонами сечения до 0,8 м, не имеющие перекрещивающихся хомутов, бетонируют непрерывно на всю высоту. Бетонную смесь осторожно загружают сверху и уплотняют её внутренними вибраторами, опускаемыми в опалубку на верёвках (см. рисунок 3.4, *a*).

Если высота колонн большого сечения превышает 5 м и они не имеют перекрещивающихся хомутов, смесь для бетонирования подают через воронки по хоботам, а уплотняют её навесными или внутренними вибраторами (см. рисунок 3.4, *б*).

Высокие и густоармированные колонны с перекрещивающимися хомутами бетонируют через окна в опалубке и специальные карманы. Виброуплотняют смесь с помощью навесных вибраторов (см. рисунок 3.4, *в*). Колонны независимо от их высоты, сечения и армирования следует бетонировать непрерывно на всю высоту этажа.

Рабочие швы рекомендуется устраивать по верхнему урезу фундамента (рисунок 3.5, *a*), т. е. в сечении А – А, у низа прогонов и балок в сечении Б – Б.



*a*) Рисунок 3.5 *б*) – *в*) Устройство *г*) рабочих швов в колоннах и рамах:

*a* – в общем случае; *б* – в колоннах промышленных сооружений; *в* – в колоннах с безбалочными перекрытиями; *г* – в покрытиях с примыканием к стенам

В колоннах промышленных сооружений рабочие швы располагают по верху фундамента (сечение А – А), на уровне верха подкрановых балок (сечение Б – Б) или на уровне низа консолей (сечение В – В, рисунок 3.5, *б*).

В колоннах с безбалочными перекрытиями рабочие швы следует устраивать на уровне верха фундамента (сечение А – А) и у низа капителей

(сечение Б – Б, рисунок 3.5, в), в покрытиях по линии Г – Г примыкания к стенам (рисунок 3.5, з).

Балки и плиты, монолитно связанные с колоннами и стенами, бетонируют не ранее чем через 1–2 ч после окончания бетонирования колонн и стен. Такой перерыв необходим для осадки бетона, уложенного в колонны и стены.

Главные балки, прогоны и плиты перекрытий следует бетонировать одновременно, чтобы число рабочих швов было наименьшим. При высоте балок более 0,8 м их бетонируют отдельно от плит с устройством горизонтального рабочего шва на уровне низа плиты.

В густоармированные балки укладывают подвижную мелкозернистую бетонную смесь (ОК = 6 ... 8 см,  $d_{\text{макс}} = 20$  мм). Отдельные балки и прогоны нужно бетонировать непрерывно. Смесь загружают в опалубку из бадей, а уплотняют её внутренними вибраторами.

Ребристые перекрытия бетонируют в направлении, параллельном главным или второстепенным балкам (прогонам), принимая наименьший фронт бетонирования. Смесь подают в несколько точек по фронту. Наилучшим образом этому условию отвечает подача смеси краном. Подавать бетон нужно навстречу бетонированию. При наличии двойного армирования плит и малом диаметре арматуры во избежание её деформирования поверху сеток укладывают лёгкие переносные щиты (рисунок 3.6).

Смесь в плитах уплотняют площадочными вибраторами при толщине плит до 0,25 м и внутренними при большей толщине. Особенно тщательно вибрируют бетон в местах примыканий плит к балкам и колоннам, а также в местах с густым армированием.

Плиты бетонируют по маякам. Поверхность их выравнивают и заглаживают гладилками и правилами. Рабочие швы в плоских плитах устраивают в любом месте, но обязательно параллельно их меньшей стороне. В ребристых же перекрытиях, бетонироваемых

параллельно второстепенным балкам, а также в отдельных балках рабочие швы устраивают в средней трети пролёта этих балок (рисунок 3.7, а).

При бетонировании в направлении, параллельном главным балкам, рабочий шов устраивают в пределах двух средних четвертей пролёта главных балок и в середине плит (рисунок 3.7, б).

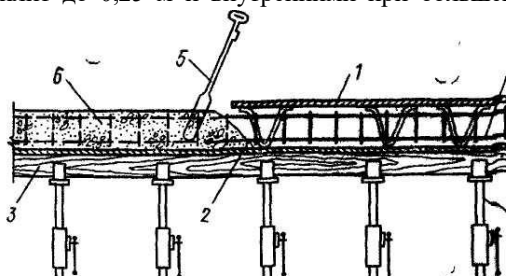


Рисунок 3.6 – Установка переносных щитов:  
1 – переносной щит; 2 – опалубка плиты; 3 – прогон;  
4 – телескопическая стойка; 5 – вибратор; 6 – уложенный бетон; 7 – арматура

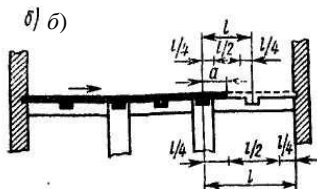
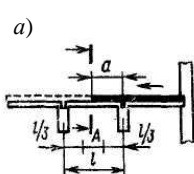


Рисунок 3.7 – Устройство рабочих швов в ребристых перекрытиях:  
*a* – параллельно второстепенным балкам; *б* – параллельно главным балкам

Рабочие швы должны быть вертикальными, для этого в плитах устанавливают доски, а в балках – щитки с отверстиями для пропуска арматуры.

Рама рекомендуется бетонировать непрерывно. Если это сделать нельзя, то допускается устройство шва в сечении Г – Г (см. рисунок 3.5, з). Бетонирование высоких (более 5 м) и густоармированных стоек ведут через окна или поярусно с наращиванием опалубки. Уплотняют смесь с помощью внутренних или навесных вибраторов.

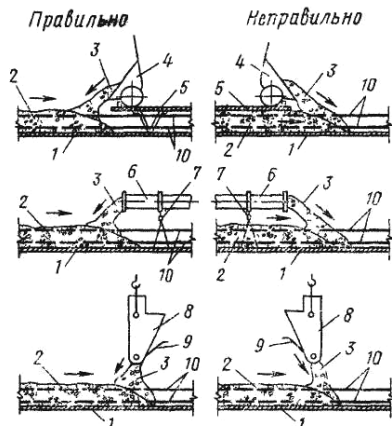
### 3.4 Бетонирование подготовок, фундаментных плит

Для устройства бетонных подготовок под цементные, керамические и другие виды полов применяют бетонную смесь с осадкой конуса 0–2 см.

Площадь, на которой предполагается бетонировать подготовку, разбивают на карты-полосы шириной 3–4 м, устанавливая по их краям маячные доски. Бетонную смесь разгружают на месте бетонирования непосредственно из автобетоновоза. Лопатами её грубо разравнивают, а затем с помощью вибробруса (виброрейки) уплотняют. При этом вибробрус на одной позиции держат до тех пор, пока он не опустится с обоими концами на маячные доски. Фундаментные плиты, днища резервуаров, туннелей и отстойников имеют большие площади и отличаются густым армированием. Толщина таких плит и днищ колеблется от 0,15 до 1,5 м. Способы их бетонирования выбирают с учётом размеров в плане, толщины, степени армирования, а также местных условий (например, наличия на стройке тех или иных механизмов и мощности бетоносмесительных установок).

При большой площади плит их разбивают на блоки бетонирования, или карты. По краям карт устанавливают деревянную или сетчатую опалубку без разрезки арматуры на границах карт. Ширину блоков принимают с учётом условий непрерывного бетонирования и темпа подачи бетонной смеси.

Если толщина плит меньше 0,5 м, разбивку их на карты и бетонирование ведут так же, как бетонных подготовок. При большей толщине плиты разбивают



на параллельные карты шириной 5–10 м, оставляя между ними разделительные полосы шириной 1–1,5 м.

Фронт бетонирования в пределах карты должен быть минимальным. Карты бетонировать подряд, т. е. одну за другой; для уменьшения суммарной усадки бетон в разделительные полосы укладывают враспор с затвердевшим бетоном карт после снятия опалубки на их границах.

Бетонную смесь с осадкой конуса 2–6 см подают на карты бетононасосами, с помощью бетоноукладчиков, эстакад, а также кранами в бадьях. Подавать её следует в направлении к ранее уложенному бетону, как бы прижимая новые порции к уложенным (рисунок 3.8).

Плиты даже большой толщины бетонировать в один слой. При этом несколько затрудняется виброуплотнение, поскольку внутренние вибраторы требуется погружать в смесь на глубину, в 1,5–2 раза превышающую длину рабочей части.

Бетонирование следует организовать так, чтобы избежать устройства рабочих швов в пределах одной карты. Выравнивают бетон плит по маякам, поверхность заглаживают гладилками, кельмами или полутёрками. В местах примыкания стен, опирания колонн и столбов бетон оставляют шероховатым с устройством в отдельных случаях рифления и насечки.

### 3.5 Бетонирование перекрытий

Бетонировать перекрытия можно 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; подъёмом плит перекрытий, бетонируемых в подвальном помещении, лебёдками и монтаж их.

Наиболее распространён метод бетонирования перекрытий с отставанием процесса от бетонирования стен. Часто применяют также способ бетонирования на каждом этаже с остановками скользящей опалубки. Этот способ имеет ряд преимуществ.

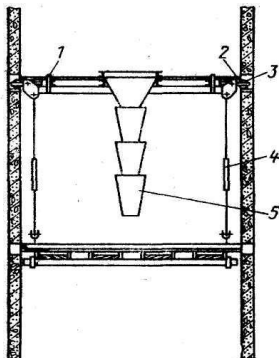


Рисунок 3.8 – Подача бетонной смеси при бетонировании плит:

- 1 – опалубка; 2 – уложенный бетон; 3 – подаваемая бетонная смесь; 4 – тачка; 5 – съемные щиты;
- 6 – бетоновод; 7 – стойка; 8 – бадья; 9 – рычаг



После этого разбирают настил рабочего пола и монтируют опалубку перекрытий.

Бетонную смесь подают любыми способами через отверстия в рабочем полу. Если замкнутые ячейки небольшие и опустить бадью с бетонной смесью невозможно над люком в рабочем полу или на специальной

Рисунок 3.9 – Воронка для подачи бетонной смеси в опалубку перекрытий:  
1 – балка; 2, 3 – опоры балки;  
4 – подвеска опалубки перекрытий; 5 – направляющие бетонной смеси

траверсе, опирающейся на стены, устанавливают воронку, от которой опускают хобот, направляющий бетонную смесь (рисунок 3.9). К траверсе, опирающейся на стены здания, можно подвешивать также опалубку перекрытий.

При бетонировании зданий, состоящих из нескольких захваток, работы планируют так, чтобы на одной захватке бетонировались стены, а на других готовили опалубку и бетонировали перекрытия. Применяют обычно несколько комплектов опалубки перекрытий (3–4), которые последовательно переставляют. В то время как бетон перекрытий в одном комплекте опалубки набирает прочность, другой комплект распалубливают, а третий – монтируют для бетонирования следующего перекрытия.

### 3.6 Специальные методы бетонирования

К специальным методам бетонирования относятся: торкретирование и набрызг-бетон, подводное бетонирование, раздельное бетонирование и др.

Способ торкретирования заключается в нанесении на вертикальные, наклонные и горизонтальные поверхности одного или нескольких защитных слоёв цементно-песчаного раствора (торкрета) при помощи цемент-пушки или бетонной смеси, нагнетаемой бетон-шприц-машиной.

Этот способ применяют для укрепления поверхностей тонкостенных конструкций в односторонней опалубке (куполов, сводов-оболочек, резервуаров), для нанесения плотного и водонепроницаемого защитного слоя подземных сооружений, а также для замоноличивания швов, исправления дефектов в бетоне, при ремонтно-восстановительных работах и для усиления железобетонных конструкций.

Метод набрызг-бетона применяют для возведения тонкостенных конструкций, отделки туннелей, омоноличивания швов, а также для исправления дефектов бетона и ремонтных работ. В отличие от торкрет-бетона смесь, наносимая набрызгом, содержит помимо цемента и песка также щебень или гравий крупностью до 25 мм.

Бетон способом набрызга наносят на вертикальные, наклонные и горизонтальные поверхности. Перед началом работ устанавливают одностороннюю опалубку и арматуру, очищают и промывают поверхности.

Подводным бетонированием называют укладку бетонной смеси под водой без водоотлива. Этот способ применяют при возведении подводных частей туннелей, опор мостов, днищ опускных колодцев и ремонте гидро-сооружений.

Укладывать бетон под водой можно одним из четырёх способов: с помощью вертикально перемещающихся труб; методом восходящего

раствора; втрамбованием порций бетонной смеси в ранее уложенную и укладкой бетонной смеси в мешках.

Сущность способа состоит в раздельной укладке крупного заполнителя и раствора. Сначала в опалубку укладывают крупный щебень, а затем в пустоты между его зёрнами нагнетают цементно-песчаный раствор.

Способ раздельного бетонирования применяют для возведения массивных и тонкостенных, неармированных и густоармированных конструкций.

Для раздельного бетонирования применяют щебень (гравий) из прочных и плотных горных пород.

Раздельное бетонирование позволяет получить следующие преимущества; уменьшить объём перемешиваемых материалов, что, в частности, вследствие раздельной доставки на объект раствора и щебня упрощает технологическую схему и делает её менее чувствительной к различным перерывам и неполадкам; исключить рабочие швы, возникающие при послышной укладке, что увеличивает монолитность конструкций.

К недостаткам этого метода следует отнести трудность контроля за качеством нагнетания раствора и более высокие требования к опалубке: она должна быть растворо непроницаемой и обладать повышенной жёсткостью.

Технология специальных методов бетонирования подробно изложена в специальной литературе [4–7].

#### 4 УХОД ЗА БЕТОНОМ

Уход за бетоном состоит в обеспечении благоприятных температурно-влажностных условий структурообразования цементного камня (таблицы 4.1, 4.2). Разработан комплекс мероприятий, направленных на получение в 28-суточном возрасте прочности, равной или превышающей прочность бетона при твердении его в стандартных условиях. Мероприятия по уходу за бетоном, порядок и сроки их проведения предусматриваются в проекте производства работ.

Таблица 4.1 – Методы выдерживания свежеложенного бетона

Мероприятие	Технологическая операция при защите поверхности свежеложенного бетона	Материалы для ухода за бетоном
Периодическое увлажнение поверхности водой	Поливка водой	Вода
Укрытие гидрофильным материалом с постоянным увлажнением	Укладка гидрофильного материала, постоянное увлажнение его водой или создание защитного слоя из воды	Опилки, песок, камышовые и соломенные маты, мешковина, поролон, вода
Укрытие пароводонепроницаемым рулонным материалом	Укрытие бетонной конструкции плёнкой с созданием вокруг неё замкнутого объёма	Полимерные плёнки, брезент и другие рулонные материалы
Обработка поверхности плёнкообразующими составами	Нанесение жидкости на поверхность бетона Нанесение на свежеложенный	Растворы, суспензии, эмульсии Гидрофобные композиции

Пропитка полимеризующимися гидрофобными композициями	бетон и его пропитка на стадии твердения жидкостями	
Твердение бетона под инвентарными устройствами типа шатров, навесов и т. п.	Размещение бетонной конструкции под временным устройством	Полимерные плёнки, брезент, ткани
Защита термоизоляционными покрытиями	Укладка термоизоляционного материала и его закрепление	Полимерные плёнки, инвентарные термовагоизоляционные покрытия
Тепловое воздействие на твердеющий бетон	Форсированный парозлектропрогрев бетонной смеси и термосное выдерживание под влиянием теплоты окружающего пространства. Импульсный нагрев поверхностного слоя бетона	Солнечная энергия, пар, электроэнергия, рулонный материал (плёнки, ткани) для временного укрытия бетона

**Таблица 4.2 – Применение методов ухода за монолитными бетонными и железобетонными конструкциями**

Конструкция	Метод ухода за бетоном
Фундаменты ленточные и столбчатые, ростверки. Подготовка под полы и фундаменты Колонны, ригели, прогоны, балки	Укрытие пароводонепроницаемым рулонным материалом. Применение инвентарных устройств Укладка на бетон гидрофильных материалов с постоянным их увлажнением, укрытие готовыми полимерными плёнками или термоизоляционными покрытиями
Плиты покрытий и перекрытий. Тонкостенные пространственные покрытия (оболочки, купола, своды, висячие покрытия)	Защита термоизоляционным покрытием, укрытие гидрофильным материалом с постоянным увлажнением, или пароводонепроницаемыми рулонными плёнками
Конструкции, бетонируемые в вертикальной скользящей опалубке (силосы, градирни, бункера, резервуары, трубы, стены жилых и общественных зданий и т. д.)	Подвесные покрытия из рулонных материалов полимерных плёнок или изготовленных термоизоляционных матов
Дорожные и аэродромные покрытия, облицовки оросительных каналов, полы и площадки промышленных зданий	Обработка поверхности плёнкообразующими составами, полимерными саморазрушающимися пенами, укрытие полимерными плёнками

## 5 ОСОБЕННОСТИ БЕТОНИРОВАНИЯ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

### 5.1 Общие сведения

Возведение монолитных железобетонных сооружений в настоящее время осуществляется круглогодично. Но при этом бетонирование в зимних условиях имеет существенные особенности.

Понятие «зимние условия» при производстве бетонных работ отличается от календарного. Принято считать, что зимние условия для конкретной стройки начинаются тогда, когда среднесуточная температура наружного

воздуха снижается до плюс 5 °С, а в течение суток наблюдается её падение ниже нуля.

При температуре ниже 0 °С в бетоне прекращаются процессы гидратации, т. е. взаимодействие минералов цемента с водой. При этом твердение бетона приостанавливается, так как бетон замерзает, превращаясь в монолит, прочность которого обуславливается силами смерзания. В бетоне появляются внутренние напряжения, которые вызывают увеличение объёма свободной воды примерно на 9 % при замерзании. Эти напряжения разрывают неокрепшие адгезионные связи между отдельными компонентами бетона, снижая его прочность. Свободная вода, замерзая на поверхности зёрен заполнителей в виде тонкой плёнки, препятствует сцеплению цементного теста с заполнителем. Это также ухудшает прочностные свойства бетона.

После оттаивания бетона твердение его при положительной температуре возобновляется, но прочность оказывается ниже проектной, т. е. той, которая была бы достигнута при твердении в нормальных условиях. Снижаются и другие свойства бетона: плотность, долговечность, сцепление с арматурой и т. д. Свойства бетона ухудшаются тем значительнее, чем раньше после укладки произошло его замерзание.

Если бетон к моменту замерзания наберёт определённую прочность, то отрицательное воздействие замораживания на его свойства невелико: после оттаивания прочность бетона может достигнуть проектной. В этом случае адгезионное сцепление между цементным тестом и заполнителем значительно больше внутренних напряжений. Поэтому вероятность деформаций в контактной зоне меньшая.

**Минимальную прочность бетона к моменту его замерзания, достаточную для достижения им после оттаивания проектной прочности, называют критической.** Эта прочность для бетонов класса ниже С8/10 в конструкциях с ненапрягаемой арматурой должна быть не менее 50 % проектной и не ниже 5 МПа С 30/37 и выше. Для бетонов классов С12/15 и С 20/25 она составляет 40 %, а для бетонов класса В30 и В40 – 30 % от 28-дневной прочности ( $R_{28}$ ).

Критическая прочность бетона в **предварительно напряжённых** конструкциях должна быть не ниже 70 % проектной. Если конструкции предполагается **нагружать** в зимний период, то к моменту замораживания прочность бетона в них должна достигнуть 100 % от проектной.

Для получения в зимних условиях бетона хорошего качества необходимо обеспечить для него такой температурно-влажностный режим, при котором физико-химические процессы твердения не нарушаются и не замедляются. Продолжительность поддержания такого режима должна обеспечивать достижение критической или проектной прочности.

В зависимости от характера выдерживания бетона **способы зимнего бетонирования** подразделяются на две группы: *безобогревные и обогревные*. К *безобогревным* способам относится бетонирование в тепляках, метод термоса, применение бетонов с противоморозными добавками и «холодных» бетонов. К *обогревным* относят методы искусственного подогрева бетона с применением электричества, пара или горячего воздуха. Способ бетонирования для конкретного объекта выбирают после технико-экономического сравнения вариантов с учётом темпа бетонирования, местных ресурсов и возможностей.

Методики расчётов зимнего бетонирования конструкций методами «термоса», электропрогрева, индукционного прогрева и инфракрасного обогрева подробно рассмотрены [9–12].

При выборе метода бетонирования исходят из того, чтобы дополнительные затраты, связанные с зимними условиями, были минимальны. Окончательно метод зимнего бетонирования принимают на основе теплотехнических расчётов и экономической целесообразности, исходя из местных условий. Рекомендуемые методы зимнего бетонирования в зависимости от вида конструкций приведены в специальной литературе [9–13].

В зимних условиях наряду с созданием оптимальной тепловлажностной среды для выдерживания бетона применяют ряд специальных приёмов обеспечения требуемой температуры бетонной смеси в процессе её приготовления, а также по предохранению охлаждения смеси при её транспортировании и укладке.

## **5.2 Особенности укладки бетонной смеси при отрицательной температуре**

При бетонировании монолитных конструкций при отрицательных температурах до начала укладки бетонной смеси опалубку и арматуру очищают от снега и наледи с помощью струи горячего воздуха или путём укрытия водонепроницаемыми материалами (полиэтиленовая плёнка, брезент и т. п.), путём оттаивания и высушивания поверхностей палубы арматурных изделий. Снимать налесь с помощью пара или горячей воды не допускается.

Способ и режимы (интенсивность, последовательность и т. п.) укладки смеси назначают в зависимости от температуры уложенной бетонной смеси к началу выдерживания или термообработки бетона, которая должна быть не менее:

- температуры, установленной расчётом при использовании метода термоса;
- температуры замерзания воды затворения, увеличенной на 5 °С при использовании противоморозных добавок;

- 0 °С в наиболее охлаждённых зонах при использовании предварительного электроразогрева бетонной смеси;
- температуры, установленной расчётом при использовании других методов зимнего бетонирования.

Следует применять такие способы, которые обеспечивают минимальные потери в процессе приёмки и подачи бетонной смеси. При крановой укладке необходимо обеспечить возможность выгрузки доставляемой смеси из автотранспортных средств непосредственно в бункера. Для подачи смеси используют бункера в зимнем исполнении. Уменьшение теплопотерь может быть достигнуто путём укрытия бункеров теплоизоляционными крышками.

Применение современных бетононасосных установок позволяет изолировать бетонную смесь при её укладке в конструкции от воздействия ветра и атмосферных осадков, а также улучшить температурный режим приёмки, подачи и распределения. В качестве нагнетательного оборудования при температуре воздуха до минус 15 °С может быть использована бетононасосная установка в обычном (летнем) исполнении. В этом случае для перекачивания по трубам используют горячие бетонные смеси (30–35 °С) или смеси с противоморозными добавками. Для обеспечения удобоперекачиваемости легкобетонных смесей пористые заполнители насыщают раствором нитрита натрия.

Укладку бетонной смеси следует вести непрерывно. В случае возникновения перерывов поверхность бетона укрывают, утепляют, а при необходимости и обогревают. Послойное бетонирование массивных монолитных конструкций ведут так, чтобы температура бетона в уложенном слое до перекрытия его следующим не опускалась ниже предусмотренной расчётом. Все открытые поверхности укладываемого бетона после окончания бетонирования укрывают пароизоляционными материалами (полимерная плёнка, рубероид и т. п.) и утепляют в соответствии с режимом выдерживания бетона.

### **5.3 Применение бетонов с противоморозными добавками**

Сущность способа заключается во введении в бетонную смесь при её приготовлении добавок, понижающих температуру замерзания воды, обеспечивающих протекание реакции гидратации цемента и твердение бетона при температуре ниже 0 °С (таблицы 5.1, 5.2, приложение Л).

В случае применения для бетонных смесей холодных материалов количество добавок для конкретной расчётной температуры назначается для  $V/C \leq 0,5$  меньшим, при  $V/C \geq 0,5$  – большим из указанных в таблице 5.1. В случае использования подогретых заполнителей меньшее количество добавок ХК + ХН, НК + М, НКМ, ННХК, ННХК + М и П необходимо применять для бетонов на портландцементе, содержащих 6 % и более

трёхкальциевого алюмината, меньшее количество добавок НН и ХК + НН – при содержании трёхкальциевого алюмината до 6 %.

Таблица 5.1 – Требуемое содержание противоморозных добавок в зависимости от расчётной температуры твердения и интенсивности твердения бетона

Добавки	Расчётная температура твердения бетона, °С	Количество безводной добавки, % по массе цемента	Прочность бетона, % от марочной, при твердении на морозе, сут.			
			7	14	28	90
Нитрит натрия НН	0...–5	4–6	30	50	70	90
Нитрат кальция НК+ + мочевины М (соотношение 1:1)	–6...–10	6–9	20	35	50	70
Нитрат кальция НК + + мочевины М (3:1)	–11...–15	8–10	15	25	35	60
Нитрит-нитрат кальция ННК + мочевины М (3:1)	–16...–20	9–12	10	20	30	50

Окончание таблицы 5.1

Добавки	Расчётная температура твердения бетона, °С	Количество безводной добавки, % по массе цемента	Прочность бетона, % от марочной, при твердении на морозе, сут.			
			7	14	28	90
Хлористый кальций ХК + хлористый натрий ХН	0...–5	(0 + 3)...(2 + 3)	35	65	80	100
	–6...–10	(3,5 + 3,5)...(2,5 + 4)	25	35	45	70
	–11...–15	(4,5 + 3)...(5 + 3,5)	15	25	35	50
	–16...–20	(6 + 2,5)...(7 + 3)	10	15	20	40
Нитрит-нитрат-хлорид кальция ННХК	0...–5	3–5	40	60	80	100
Хлористый кальций ХК + нитрит натрия НН (1:1)	–11...–15	7–11	20	35	45	70
Нитрит-нитрат-хлорид кальция ННХК + мочевины М (3:1)	–6...–10	6–9,5	25	40	50	80
Поташ П	0...–5	5–6	20	65	75	100
	–6...–10	7–8	50	50	70	90
	–11...–15	8–10	30	40	65	80
	–16...–20	10–12	25	40	55	70
	–21...–25	12–15	25	30	50	60

Введение добавок в бетоны на **шлакопортландцемент**ах **не рекомендуется** в связи с их медленным твердением и меньшей конечной прочностью, чем на портландцементах. После дополнительного 28-

суточного выдерживания в естественных условиях при температуре 0 °С бетоны с противоморозными добавками достигают, как правило, марочной прочности.

Необходимо учитывать требования СНиП III-15-76, ограничивающие применение бетонов с противоморозными добавками: в конструкциях с предварительно напряжённой арматурой; в стыках сборных и сборно-монолитных конструкций; в конструкциях; эксплуатируемых при переменном уровне воды; в агрессивных средах; в зонах блуждающих токов и под напряжением постоянного тока.

Бетонные смеси с добавками НН и ХК + НН характеризуются обычными сроками схватывания. Бетонные смеси с добавками НКМ, НК + М, ННК, ННХК, ННХК + М, ХК + ХН и, особенно П, схватываются значительно быстрее, в связи с чем в смеси с этими добавками необходимо **вводить замедлители схватывания**, например, сульфитно-дрожжевую бражку СДБ, а в случае применения поташа П – также тетраборат натрия ТБН, тринатрийфосфат ТНФ, жидкое стекло ЖС в сочетании с пластификатором адипиновым щелочным ПАЩ-1 (см. таблицу 5.2).

Таблица 5.2 – Рекомендуемое количество замедлителей схватывания

Дозировка поташа, % по массе цемента	Дозировка замедлителей схватывания, % по массе цемента		
	СДБ	ТБН или ТНФ	ЖС + ПАЩ-1
5–6	0,5–0,75	1–1,2	0,8–1,2
6–8	0,5–1	1,2–1,6	1–1,6
8–10	0,75–1	1,6–2	1,2–2
10–12	1–1,25	2–2,4	1,6–2,6
12–15	1–1,25	2,4–3	1,8–3,2

*Примечание* – В сочетании с другими добавками следует применять СДБ в количестве до 0,5 % по массе цемента.

Добавки вводят в бетонную смесь в виде водных растворов рабочей концентрации (см. таблицу 5.2), которые получают смешиванием концентрированных растворов добавок с водой затворения и подают в бетоносмеситель через дозаторы воды. Добавку ТБН в связи с плохой растворимостью в воде рекомендуется растворять в водном растворе поташа. Для ускорения растворения солей воду рекомендуется подогревать до температуры не более 80 °С; в случае применения мочевины – до температуры не более 40 °С. Объём расходных емкостей для концентрированных растворов добавок должен быть не менее сменной потребности смесительного узла.

Укладку и уплотнение бетонных смесей с противоморозными добавками осуществляют обычными методами. При небольших объёмах и невысоких



скоростях строительства использование добавок в ряде случаев целесообразно. Однако как основной метод без дополнительного прогрева бетона он неэффективен, особенно при возведении зданий с монолитными перекрытиями и широким шагом несущих стен. Основным недостатком этого метода является низкая скорость набора прочности бетоном и невысокий темп оборачиваемости опалубки. Кроме того, некоторые добавки (например, ускорители твердения – хлористые соли) ухудшают качество поверхности возводимых конструкций из-за появления высолов.

Применение противоморозных добавок имеет **значительные ограничения**; так, они не допускаются при бетонировании преднапряжённых конструкций; конструкций, подвергающихся воздействию динамических нагрузок; конструкций, эксплуатируемых при влажности воздуха более 60 %, при температуре более 60 °С, соприкасающихся с агрессивными водами, находящимися в непосредственной близости (до 100 м) к источникам тока высокого напряжения; монолитных домов и вентиляционных труб и градирен.

### 5.3.1 Проектирование состава бетона с противоморозными добавками

**Пример.** Определить состав бетона класса  $C_{12/15}$  с добавкой ХК + НН<sub>1</sub>.

Исходные данные: Температура наружного воздуха минус 12 °С. Состав бетона в летних условиях в расчёте на 1 м<sup>3</sup>: песок – 670 кг, щебень – 1240 кг, вода – 180 кг, В/Ц = 0,6; подвижность смеси – 4 см. Влажность песка  $W_{п} = 3 \%$ , влажность щебня  $W_{щ} = 0,5 \%$ .

**Р е ш е н и е.**

1 Согласно данным таблицы 5.1, при указанных исходных данных и использовании неотогретых заполнителей количество добавок ХК и НН<sub>1</sub> должно составлять по 6 % массы цемента или  $300 \cdot 0,06 = 18$  кг.

2 Согласно таблице 6.7 [8] в 1 л концентрированного раствора ХК с плотностью 1,293 г/см<sup>3</sup> содержится 0,401 кг соли, а в 1 л раствора НН<sub>1</sub> с плотностью 1,198 г/см<sup>3</sup> – 0,336 кг соли. Для обеспечения в бетоне требуемого количества добавок необходимо следующее количество концентрированных растворов добавок: ХК –  $18 : 0,401 = 45$  л; НН<sub>1</sub> –  $18 : 0,336 = 53,3$  л.

3 В этих объёмах растворов содержится вода в количестве

$$1,293 \cdot 45 - 18 = 58,2 - 18 = 40,2 \text{ л;}$$

$$1,198 \cdot 53,3 - 18 = 64 - 18 = 46 \text{ л.}$$

Всего

$$40,2 + 46 = 86,2 \text{ л.}$$

4 С учётом 3%-ной влажности песка ( $670 \cdot 0,03 = 20,1$  кг) и 0,5%-ной влажности щебня ( $1240 \cdot 0,005 = 6,2$  кг) суммарное количество воды в заполнителях и концентрированных растворах добавок

$$40,2 + 46 + 20,1 + 6,2 = 112,5 \text{ л.}$$

Определение плотности и содержания добавок в водных растворах, температура которых отличается от 20 °С, осуществляется по формулам:

$$d_t = d_{20} - A(t - 20); \quad m_t = m_{20}d_t/d_{20},$$

где  $d_t$  и  $d_{20}$  – плотность раствора соответственно при фактической температуре и при 20 °С, г/см<sup>3</sup>;

$A$  – температурный коэффициент плотности раствора, г · °С / см<sup>3</sup>;

$t$  – фактическая температура бетона, °С;

$m_t$  и  $m_{20}$  – содержание соли в растворе соответственно при фактической температуре и при 20 °С, кг.

5 Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона при дозировке цемента – 300 кг; песка –  $670 \cdot 1,03 = 690$  кг; щебня –  $1240 \cdot 1,005 = 1246$  кг.

6 Оставшаяся часть воды затворения в количестве  $180 - 112,5 = 67,5$  л используется для разбавления концентрированных растворов добавок в соотношении ХК : НН<sub>1</sub> = 40,2 : 46 = 1 : 1,12, или в концентрированный раствор ХК добавляем 32 л воды, а в раствор НН<sub>1</sub> –  $67,5 - 32 = 35,5$  л воды.

7 Количество каждой добавки после разбавления концентрированных растворов составит в растворе рабочей концентрации:

$$\text{ХК} - \frac{18 \cdot 100}{32 + 40,2} = 25 \text{ \%};$$

$$\text{НН}_1 - \frac{18 \cdot 100}{35,5 + 46} = 20 \text{ \%}.$$

8 Согласно таблице 6.7 [8] (см. приложение Л) плотность рабочих растворов при контроле её ареометром должна составлять 1,22 г/см<sup>3</sup> для ХК и 1,138 г/см<sup>3</sup> для НН<sub>1</sub>. Температура замерзания растворов добавок в 180 л воды для ХК – 14,6 °С, для НН<sub>1</sub> – 9,4 °С, для раствора с комплексной добавкой  $[(-14,6) + (-9,4)] : 2 = -12$  °С.

## 5.4 Предварительный электропрогрев бетонных смесей

Сущность этого способа (иначе – метода горячего термоса) заключается в электроразогреве бетонной смеси непосредственно перед укладкой в опалубку, уплотнении её в горячем состоянии и выдерживания по методу термоса или с дополнительным обогревом.

Электроразогрев смеси ведут током промышленной частоты и напряжением 380 В. Температура разогретых бетонных смесей на портландцементе колеблется от 70 до 95 °С, время разогрева порции смеси 5–10 мин.

С повышением температуры бетонные смеси быстро загустевают, т. е. теряют свою подвижность. Для замедления процесса загустевания в них вводят пластифицирующие добавки: сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ), винсол, мылонафт, абиетат натрия и др.

Для уменьшения теплотеря электроразогрев бетонной смеси ведут в специально оборудованных бадах или в автосамосвалах с последующей разгрузкой смеси непосредственно в опалубку [13].

Бадьи для электроразогрева бетонной смеси (см. рисунок Д.1) представляют собой поворотные бункера с сегментными затворами и тремя пластинчатыми электродами. Электроды, закреплённые к корпусу бады через изоляторы, имеют по контактной шпильке для включения в электросеть. Вместимость таких бадей колеблется от 0,5 до 2,0 м<sup>3</sup>. Количество бадей на объекте подбирают, исходя из сменного потока бетонной смеси, вида транспортных средств, типа крана и т. п.

На объекте вблизи места бетонирования оборудуют пост предварительного электроразогрева смеси – горизонтально спланированную площадку или деревянный блок размером 6 × 6 м с сетчатым ограждением по периметру высотой 1,5–1,7 м. На площадке устанавливают бады для электроразогрева. Щит управления разогревом выносят за ограждение (рисунок 5.1).

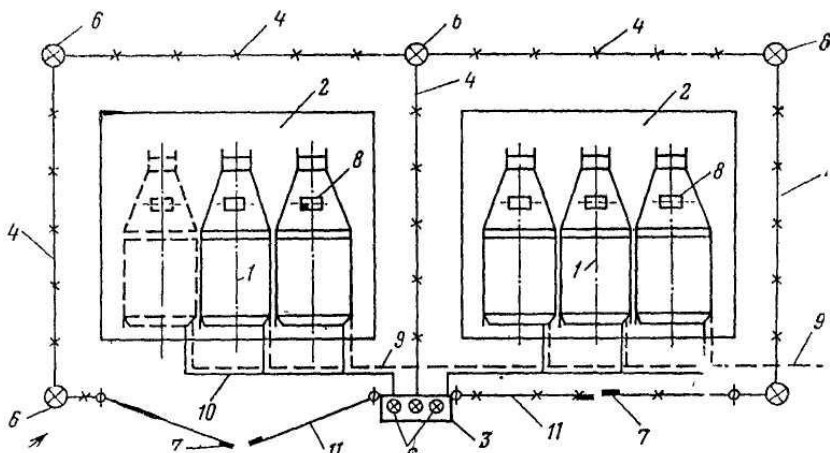


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема площадки для электроразогрева бетонной смеси:

1 – бункера разогрева; 2 – деревянный настил; 3 – пульт управления; 4 – ограждение; 5 – контур заземления; 6 – светильники; 7 – концевые выключатели (блокировка); 8 – вибратор площадочный; 9 – заземляющий кабель; 10 – токоподводящий кабель; 11 – ворота

Бетонную смесь из транспортных средств разгружают в электроразогревные бадьи и равномерно распределяют между электродами, для чего кратковременно включают вибраторы на бадьях. Для уменьшения теплопотерь бадьи утепляют, а с наветренной стороны у поста разогрева ставят деревянные щиты.

Электроразогрев бетонной смеси осуществляют в основном пластинчатыми электродами в бункерах и бадьях (см. рисунок Д.1) или в кузовах автосамосвалов с помощью опускных электродов. В первом случае приготовленную на бетонном заводе смесь, имеющую температуру 5–15 °С, доставляют автосамосвалами на строительную площадку, выгружают в бадью с вмонтированными электродами, уплотняют кратковременным включением вибраторов. Открытую часть бадьи закрывают крышкой или брезентом.

Корпуса бадей с бетонной смесью заземляют и присоединяют к ним нулевые провода от питающей сети, затем подключают к сети электроды. Для контроля за температурой разогрева в бетонную смесь устанавливают термометры и термодатчики. После проверки надёжности контактов обслуживающий персонал выходит за ограждение и на электроды подают напряжение. После разогрева смеси до 70–80 °С напряжение отключают, бадью подают краном к месту бетонирования и при включенном вибраторе бадью смесь выгружают в опалубку. Мощность, необходимая для электроразогрева бетонной смеси, и расстояние между электродами в бадье для разогрева смеси являются величинами расчётными и определяются по формулам, приводимым в справочной литературе [8–10, 12, 13].

Укладывать бетонную смесь нужно быстро и по возможности непрерывно. С целью снижения теплопотерь промежуточные перегрузки разогретой смеси не допускаются, а высоту её свободного падения уменьшают до 1,5 м.

При подаче бетонной смеси из транспортных средств в опалубку электроразогрев её ведут непосредственно в автосамосвалах [13].

В этом случае приготовленную на бетонном заводе смесь доставляют в кузове автосамосвала на строительную площадку. Автосамосвал въезжает на пост разогрева и останавливается в строго определённом положении под рамой с электродами, после чего водитель выходит за пределы ограждения поста. Электрик присоединяет к кузову провод защитного заземления, при работающем вибраторе рамы опускает электроды в бетонную смесь и подаёт напряжение.

После электроразогрева смеси до расчётной температуры напряжение отключают, водитель входит на территорию поста, садится в кабину автосамосвала и выезжает с поста. Транспортирование, выгрузка и укладка смеси в опалубку должны продолжаться не более 10 мин. Разогретую смесь

укладывают в опалубку и уплотняют такими же способами, как и обычную, но в максимально короткие сроки во избежание её застывания и остывания. Перегрузки разогретой бетонной смеси нежелательны.

Преимущество разогрева бетонной смеси в кузове автосамосвала по сравнению с предыдущим методом состоит в том, что при укладке бетонной смеси в нескольких пунктах в пределах одной стройплощадки нет необходимости организовывать разогрев смеси в каждом из них.

В последние годы всё большее распространение получают методы зимнего бетонирования, включающие электроразогрев бетонных смесей, в состав которых входят противоморозные добавки.

## **5.5 Особенности применения бетононасосов в зимних условиях**

### **5.5.1 Теоретические основы укладки бетонной смеси в зимних условиях**

Укладка бетонной смеси в зимних условиях бетононасосными установками осуществляется так же, как и в летних. Особенностью производства бетонных работ при отрицательных температурах воздуха является необходимость выполнения мероприятий, обеспечивающих минимальные потери тепла бетонной смеси от момента её приготовления до укладки в опалубку конструкции, а также по подготовке бетонной установки к работе в зимних условиях.

Выдерживание бетона можно производить с применением одного из известных способов – термоса, электротермообработки, в тепляках, с паропрогревом [9–11, 13].

Правильно организованный процесс бетонирования конструкций в зимнее время с применением бетононасосных установок должен предусматривать мероприятия по уменьшению теплопотерь бетонных смесей:

- 1) при транспортировании от бетоносмесительной установки к бетононасосу;
- 2) перегрузке в приёмный бункер бетононасоса;
- 3) перекачивании по трубам.

В случае транспортирования бетонной смеси от смесительных узлов при температуре ниже минус 15 °С барабаны бетоносмесителей, кузова автобетоновозов и автосамосвалов должны быть утеплены или оборудованы устройствами обогрева.

Утепление может выполняться с помощью эффективных теплоизоляционных материалов – минераловатных матов, пенопласта, поропласта, пенополиуретана и т. п., проложенных между барабаном или кузовом и лёгким металлическим кожухом.

В качестве теплоносителя при обогреве могут использоваться отработанные газы от двигателя автомобиля в смеси с наружным воздухом, подаваемые в полость между кузовом или барабаном и металлическим кожухом. Сверху кузова закрывают брезентовыми полотнищами с закреплёнными на них поперёк кузова деревянными планками. Загрузочное

отверстие барабана автобетоносмесителя также должно быть закрыто, а бак для воды и система водонапорных труб соответственно утеплены.

Транспортирование бетонной смеси от смесительных узлов при температуре до минус 15 °С можно осуществлять в автотранспортных средствах обычного (летнего) исполнения с обязательной очисткой барабанов и кузовов от наледи и снега.

Снижение температуры бетонной смеси в процессе её транспортирования в неутеплённых средствах перевозки рекомендуется определять по формуле

$$\Delta t_{\text{тр}} = \Delta t'_{\text{тр}} (t_{\text{в}} - t_{\text{с.м}}) \tau,$$

где  $\Delta t_{\text{тр}}$  – изменение температуры смеси (средней по перевозимому объёму), °С;

$\Delta t'_{\text{тр}}$  – изменение температуры смеси при транспортирование в течение одной минуты при разнице температур смеси и воздуха 1 °С, °С/°С<sub>мин</sub> (таблица 5.3);

$t_{\text{в}}$  – температура воздуха, °С;

$t_{\text{с.м}}$  – температура смеси в начале транспортирования, °С;

$\tau$  – продолжительность транспортирования смеси, мин.

Таблица 5.3 – Изменение температуры смеси при транспортировании

Тип автосамосвала	Объём перевозимой смеси, м <sup>3</sup>	$\Delta t'_{\text{тр}}$ , °С/°С <sub>мин</sub>
ГАЗ-93	1,4	0,0037
ЗИЛ-ММЗ-555	2	0,003
МАЗ-503	3,2	0,0025

Место перегрузки смеси должно быть защищено от ветра, а участок над приёмным бункером бетононасоса следует защищать от атмосферных осадков. Эти мероприятия должны быть отражены на стройгенплане.

Стандартные бетононасосы целесообразно устанавливать в отапливаемых помещениях, а передвижные – оборудовать утеплёнными кожухами с местным обогревом.

В зависимости от температуры воздуха, длины и диаметра трубопровода, температуры смеси, производительности бетононасоса транспортирование смеси в зимних условиях следует осуществлять по неутеплённым, утеплённым или обогреваемым трубопроводам, области применения которых приведены на рисунке 5.2.

При выборе типа трубопровода из числа перечисленных необходимо руководствоваться следующими положениями:

1) транспортирование бетонных смесей по неутеплённым трубопроводам не требует дополнительных затрат на устройство и эксплуатацию трубопровода по сравнению с летними условиями, однако имеет ограниченную область применения по температуре воздуха и длине трубопровода. Не допускается остановка бетононасоса продолжительностью свыше 15 мин. При более длительной остановке необходимо принимать меры для удаления бетонной смеси из трубопровода;

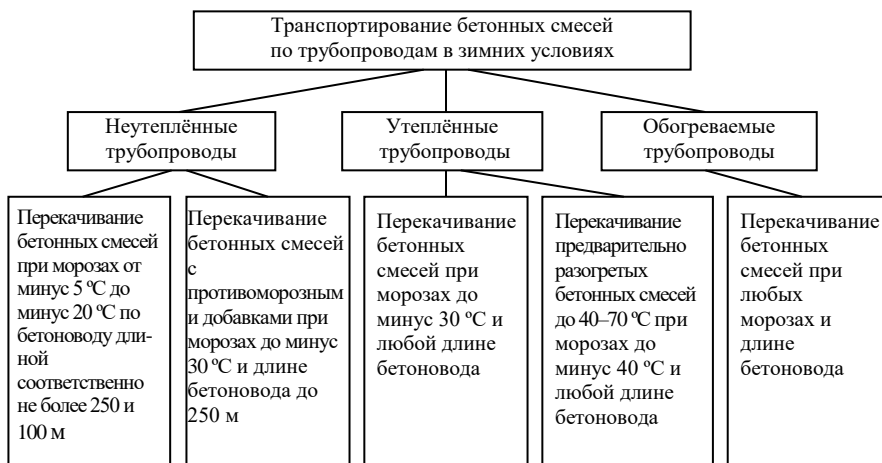


Рисунок 5.2 – Примерные области применения неутеплённых, утеплённых и обогреваемых трубопроводов

2) транспортирование бетонных смесей по утеплённым трубопроводам требует небольших дополнительных затрат на теплоизоляцию. По сравнению с транспортированием по неутеплённым трубопроводам имеет более широкую область применения по температуре воздуха и длине трубопровода. Допускает остановку бетононасоса продолжительностью до 20–30 мин;

3) транспортирование бетонных смесей по обогреваемым утеплённым трубопроводам требует специальных электронагревательных элементов, значительных первоначальных затрат на устройство утепления и эксплуатационных затрат на электроэнергию. Однако эти мероприятия обеспечивают условия транспортирования бетонной смеси, не отличающиеся от летних.

Транспортирование по трубопроводам бетонных смесей с противоморозными добавками **хлористых солей** (без добавки пассиваторов) **не допускается** во избежание интенсивной коррозии деталей насоса и трубопроводов. **Транспортировать по трубопроводам смеси с добавкой поташа не допускается в связи с их быстрым загустеванием.**

Средняя температура бетонной смеси в процессе транспортирования по трубопроводу, включая периоды остановки бетононасоса, не должна опускаться ниже величин, обеспечивающих температуру уложенного в конструкцию бетона перед началом выдерживания или прогрева:

- 1) при выдерживании бетона по способу термоса – по расчёту;
- 2) перед началом предварительного электроразогрева бетонной смеси в бадье или кузове автобетоновоза – не ниже 0 °С в наиболее охлаждённых зонах;
- 3) при применении других способов электротермообработки – не ниже плюс 2 °С;

4) при использовании бетона с противоморозными добавками – не менее чем на 5 °С выше температуры замерзания раствора затвердения.

При транспортировании бетонных смесей по бетоноводам (неизолированным, теплоизолированным и обогреваемым) температура смеси на контакте с внутренней поверхностью труб должна быть не менее 5 °С. Методика и примеры расчёта по определению температуры бетонной смеси в трубопроводе приведены ниже.

В качестве теплоизоляционных материалов для утепления бетоноводов, бетононасосов и их приёмных бункеров, а также средств автотранспорта бетонных смесей можно использовать материалы, представленные в таблице 16 [6]. При этом для предварительных расчётов толщину теплоизоляции следует принимать не менее 60 мм для материалов с плотностью до 200 кг/м<sup>3</sup> и 120 мм – плотностью 400–600 кг/м<sup>3</sup>.

Для утепления бетоноводов целесообразно использовать полносборные теплоизоляционные конструкции типа ТК, включающие теплоизоляционный слой, защитное покрытие и детали крепежа или инвентарные полуцилиндры из теплоизоляционных материалов на синтетическом связующем типа СТК. При отсутствии полносборных конструкций необходимо применять теплоизоляционные маты, мягкие плиты, сегменты из полужёстких плит, отопительный войлок, теплоизоляционные жгуты и шнуры. Величина коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов приведена в таблице 5.4.

Утепление, выполненное из материалов, приведённых в таблице 5.4, должно быть снаружи защищено от увлажнения и механических воздействий кожухами из оцинкованной стали, листового дюралюминия, алюминиевой гофрированной ленты.

Замковые соединения бетоновода рекомендуется утеплять быстроразъёмными муфтами из податливых (гибких) теплоизоляционных материалов (поролона, минераловатных или стекловатных матов и т. п.), прикрепляемых к плотной основе типа брезента. Для плотного стягивания муфты вокруг замкового соединения можно использовать ленты кожи или других материалов, снабжённые пряжками.

**Таблица 5.4 – Характеристики теплоизоляционных материалов**

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м · °С	Примечание
----------	------------------------------	---	------------



Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м · °С	Примечание
Войлок утеплительный	100	0,052 + 0,00020 $t_{cp}$	Для утепления бетонОВОД В
Жгут стеклянный ЖСТ-30	130	0,037 + 0,00026 $t_{cp}$	
Маты минераловатные прошивные марки 100	130	0,045 + 0,00020 $t_{cp}$	
То же марки 150	200	0,0535 + 0,000185 $t_{cp}$	
Маты минераловатные на синтетическом связующем марки 75	115	0,043 + 0,00022 $t_{cp}$	
Маты и полосы из непрерывного стекловолокна прошивные	200	0,04 + 0,00026 $t_{cp}$	
Маты стекловатные на синтетическом связующем марки 50	80	0,042 + 0,00035 $t_{cp}$	
Плиты минераловатные на синтетическом связующем марки 75	115	0,043 + 0,00022 $t_{cp}$	
	120	0,041 + 0,00021 $t_{cp}$	
	150	0,047 + 0,000185 $t_{cp}$	
То же полужёсткие марки 100 « марки 125	230	0,056 + 0,000185 $t_{cp}$	
Плиты минераловатные на крахмальном связующем			
Плиты стекловатные полужёсткие на	60	0,042 + 0,00053 $t_{cp}$	
синтетическом связующем марки 50	90	0,044 + 0,00023 $t_{cp}$	
То же марки 75			
Полуцилиндры	150	0,049 + 0,0002 $t_{cp}$	
теплоизоляционные из	200	0,052 + 0,000185 $t_{cp}$	
минеральной ваты	300–400	0,14	
на синтетическом связующем марки 150			
То же марки 200			
Пористая (губчатая) резина	150	0,049 + 0,0002 $t_{cp}$	
Цилиндры	200	0,052 + 0,000185 $t_{cp}$	
теплоизоляционные из	250	0,056 + 0,000185 $t_{cp}$	
минеральной ваты на			
синтетическом связующем	200	0,056 + 0,000185 $t_{cp}$	
марки 150	250	0,058 + 0,000185 $t_{cp}$	
То же марки 200	300	0,061 + 0,000185 $t_{cp}$	
« марки 250			
Шнур теплоизоляционный из минеральной ваты марки 200			
То же марки 250			
« марки 300			

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м · °С	Примечание
Древесноволокнистые и древесностружечные плиты с влажностью 12 %	200	0,08	Только для утепления приёмного бункера
То же	400	0,14	
Древесноволокнистые и древесностружечные плиты с влажностью 12 %	600	0,16	

### 5.5.2 Расчёт температуры бетонной смеси в трубопроводах

Метод расчёта температур бетонной смеси в бетоноводе основан на аналитическом решении задач о тепловом режиме бетонной смеси при её установившемся равномерном движении и перерывах в перекачивании и отличается от общепринятой методики учётом величины разогрева пристенного слоя смеси при перекачивании и тем, что температуры на поверхности и в ядре потока не предполагаются одинаковыми. Расчёт позволяет определить температуру бетонной смеси как на поверхности ядра потока  $t_{\text{пов}}$ , так и среднюю температуру по поперечному сечению бетоновода  $t_{\text{ср}}$ .

Исходными данными для расчёта являются:

$l$  – длина бетоновода от бункера бетононасоса до поперечного сечения, для которого производится расчёт, м;

$d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр бетоновода, м;

$d_{\text{н}}$  – наружный диаметр бетоновода, м;

$\delta_{\text{из}}$  – толщина теплоизоляционного слоя бетоновода, м;

$t_0$  – температура бетонной смеси в бункере насоса, °С;

$t_{\text{в}}$  – температура окружающего воздуха, °С;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи в воздух, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

$\omega$  – скорость ветра, м/с;

$\lambda_{\text{из}}$  – коэффициент теплопроводности материала теплоизоляционного слоя, Вт/м · °С;

$Q$  – расход бетонной смеси, м<sup>3</sup>/ч;

$\tau$  – время остановки бетононасоса, ч;

$\Delta P$  – перепад давления на погонный метр бетоновода (для горизонтального участка), МПа/м;

$\lambda_{\text{с}}$  – коэффициент теплопроводности бетонной смеси, Вт/м · °С;

$a_{\text{с}}$  – коэффициент температуропроводности бетонной смеси, м<sup>2</sup>/ч.

Значения коэффициентов  $\lambda_{\text{с}}$  и  $a_{\text{с}}$  изменяются в широком диапазоне, так как на их величину влияет множество факторов, таких как состав бетонной смеси, характеристика материалов, водоцементное отношение, продолжительность от начала затворения смеси и др. Для данного расчёта их значения приняты с запасом:  $\lambda_{\text{с}} = 3,13$  Вт/м · °С и  $a_{\text{с}} = 0,0066$  м<sup>2</sup>/ч, что

приводит к получению расчётных температур  $t_{\text{пов}}$  и  $t_{\text{ср}}$  несколько ниже реальных.

Интенсивность охлаждения бетонной смеси характеризуется следующим безразмерным коэффициентом:

$$K = \frac{1}{\frac{\lambda_c}{\lambda_{\text{из}}} \ln \left( 1 + \frac{2\delta_{\text{из}}}{d_{\text{н}}} \right) + \frac{2\lambda_c}{\alpha(d + 2\delta_{\text{из}})}}.$$

Значения коэффициента  $K$  для неизолированного и теплоизолированного бетоноводов приведены соответственно в таблицах 5.5 и 5.6.

Таблица 5.5 – Значения коэффициента  $K$  для неизолированного бетоновода

Скорость ветра $\omega$ , м/с	Наружный диаметр бетоновода $d_{\text{н}}$ , м					
	0,089	0,108	0,133	0,159	0,194	0,219
5	0,38	0,42	0,49	0,55	0,64	0,68
10	0,55	0,63	0,72	0,83	0,97	1,1
15	0,71	0,79	0,93	1,1	1,3	1,4
20	0,84	0,94	1,1	1,3	1,5	1,6

Таблица 5.6 – Значения коэффициента  $K$  для теплоизолированного бетоновода

Коэффициент теплопроводности материала теплоизоляционного слоя $\lambda_{\text{из}}$ , Вт/м · °С	Отношение толщины теплоизоляционного слоя бетоновода $\delta_{\text{из}}$ к его наружному диаметру $d_{\text{н}}$				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,035	0,033	0,024	0,019	0,016	0,014
0,040	0,038	0,027	0,022	0,018	0,016
0,045	0,043	0,031	0,024	0,021	0,018
0,050	0,047	0,034	0,027	0,023	0,020
0,055	0,052	0,037	0,03	0,025	0,022
0,060	0,057	0,041	0,033	0,028	0,024
0,065	0,062	0,044	0,035	0,03	0,026

Температура поверхности движущейся смеси определяется формулой

$$\frac{t_{\text{пов}}(l) - t_1}{t_0 - t_1} = f_{\text{пов}}(Z_l, K),$$

где  $Z_l = \pi a_c l / Q$ ;  $t_1 = t_{\text{в}} + \frac{\Delta PQ}{2\pi K \lambda_c}$ , а значения функции  $f_{\text{пов}}(Z_l; K)$

определяются по номограмме [6]. Величина  $\Delta PQ$  характеризует интенсивность разогрева поверхностного слоя бетонной смеси при её движении за счёт сил сопротивления. При эффективной теплоизоляции

бетоновода может оказаться, что  $t_1 > t_0$ . Это означает, что при движении смеси её температура не понижается, а повышается.

Средняя по сечению температура смеси  $t_{cp}$  определяется формулой

$$\frac{t_{cp}(l) - t_1}{t_0 - t_1} = f_{cp}(Z_l, K),$$

где значения функции  $f_{cp}(Z_l, K)$  определяются по номограмме.

С помощью приведенных формул можно не только находить температуру  $t_{пов}$  и  $t_{cp}$ , но и решать обратные задачи. Например, можно определять максимально возможную продолжительность остановки при ограничении на минимальную допустимую температуру или находить необходимую толщину теплоизоляции при заданной продолжительности перерыва в нагнетании.

Для облегчения расчётов по этим формулам в Руководстве [6] приведены номограммы для определения значений температуры  $Z_l$  и  $Z_\tau$  и разности температур

$$t_1 = t_B + \frac{\Delta P Q}{2\pi K \lambda_c}$$

### 5.5.3 Примеры расчёта

**Пример 5.1.** Требуется определить температуру бетонной смеси в зоне пристенного слоя на выходе из теплоизолированного бетоновода при продолжительности перерыва в работе бетононасоса 40 мин ( $\tau = 0,66$  ч).

*Исходные данные:* бетоновод  $d_{вн} = 0,125$  м,  $d_{н} = 0,133$  м,  $l = 100$  м,  $Q = 15$  м<sup>3</sup>/ч,  $\Delta P = 0,01$  МПа/м; теплоизоляция  $\delta_{из} = 0,04$  м,  $\lambda_{из} = 0,065$  Вт/м · °С; температура воздуха  $t_B = -30$  °С, температура в бункере бетононасоса  $t_0 = 20$  °С.

#### Р е ш е н и е

- 1 Определяем отношение  $\delta_{из} / d_{н} = 0,3$ .
- 2 По таблице 5.6 находим  $K = 0,044$ .
- 3 По номограмме [6] находим  $t_1 - t_B = 48$  °С.
- 4 По номограмме [6] находим  $Z_\tau = 0,14$  и на рисунке М.5  $Z_l = 1,14$ ; определяем их сумму  $Z_l + Z_\tau = 1,28$ .
- 5 По номограмме [6] находим  $y = f_{пов}(Z_l, K) = f_{пов}(1,24; 0,044) = 0,89$  и  $f_{пов}(Z_l + Z_\tau, K) = f_{пов}(1,28; 0,044) = 0,88$ .
- 6 Вычисляем правую часть по формуле  $y = 0,88 + 48 / 50 \cdot (0,89 - 0,88) = 0,89$ .
- 7 По номограмме [6] находим искомую температуру:

$$t_{\text{пов}}(100, 0,66) = 14 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

**Пример 5.2.** Требуется определить максимально допустимую продолжительность перерыва в работе бетононасоса, в течение которого температура  $t_{\text{ср}}$  бетонной смеси, перекачиваемой по неутеплённому трубопроводу, снизится до  $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Исходные данные:* бетоновод  $d_{\text{вн}} = 0,125 \text{ м}$ ,  $d_{\text{н}} = 0,133 \text{ м}$ , без теплоизоляции ( $\delta_{\text{из}} = 0$ ),  $l = 100 \text{ м}$ ,  $Q = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\Delta P = 0,01 \text{ МПа/м}$ ; температура воздуха  $t_{\text{в}} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура смеси в бункере бетононасоса  $t_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; скорость ветра  $\omega = 10 \text{ м/с}$ .

### Р е ш е н и е

1 Исходя из условия  $t \geq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  по номограмме на [6] находим значение  $y \geq 0,5$ .

2 По таблице 5.5 находим  $K = 0,72$ .

3 По номограмме [6] находим  $t_1 - t_{\text{в}} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

4 По номограмме [6] находим  $Z_l = 0,14$ .

5 По номограмме [6] при  $K = 0,72$  находим, что  $y = 0,5$  соответствует  $Z = 0,57$ . Полагаем  $Z_r = Z - Z_l = 0,43$ .

6 Проверяем полученное:  $Z_r = Z - Z_l = 0,43$  и, если нужно, вносим поправку:  $y = f_{\text{ср}}(0,57; 0,72) + 3 \text{ }^{\circ}\text{C} / 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot [f_{\text{ср}}(0,43; 0,72) - f_{\text{ср}}(0,57; 0,72)] = 0,5 + 1 / 10 \cdot (0,58 - 0,5) = 0,508$ .

Так как найденное значение получилось близким к величине  $0,5$ , определённое расчётом  $Z_r = 0,43$  не нуждается в поправке.

7 По номограмме [6], зная  $Z_r$ , находим  $\tau = 15 \text{ мин}$ . Следует учитывать, что расчётная температура бетонной смеси на поверхности ядра потока при этих условиях  $t_{\text{пов}} = 2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 6 ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Технологию и организацию бетонных и железобетонных работ проектируют с учётом особенностей возводимого объекта, требуемых сроков ввода в эксплуатацию, наличия энергетических ресурсов, климатических и других местных условий.

На основе технологических и технико-экономических показателей подбирают наиболее выгодный вариант. При необходимости эту задачу решают в оптимизационной постановке с минимизацией в зависимости от поставленной задачи одного из определяющих критериев: приведённых затрат, расхода энергетических ресурсов, сроков строительства и т. д.

Определяют в качестве целевой функции один из показателей, остальные принимают в качестве ограничений.

В комплексе железобетонных работ ведущим процессом является бетонирование, включающее в себя процессы транспортирования, приёма, распределения и укладки бетонной смеси.

Ведущим частным потоком является укладка бетонной смеси в опалубку. Для этого потока подбирают с учётом технологических требований заданного темпа работ и эксплуатационной производительности ведущую машину, например бетононасос, бетоноукладчик или кран. Затем в зависимости от производительности ведущей машины подбирают комплектующие машины и оборудование, например автобетоновозы, вибраторы, бадьи и т. д.

С учётом производительности ведущего частного потока подбирают комплекты машин для остальных частных потоков, в том числе по монтажу опалубки, монтажу арматуры, выдерживанию бетона и демонтажу опалубки.

При проектировании поточного производства работ прежде всего устанавливают технологические параметры, т. е. степень членения на частные потоки. После этого устанавливают пространственные параметры потока, т. е. наиболее рациональное членение бетонлируемых конструкций или сооружения на ярусы и захватки.

Высоту ярусов обычно назначают с учётом возможности устройства рабочих швов, удобства бетонирования. Захватки обычно назначают разновеликими по трудоёмкости и продолжительности выполнения частных потоков. При этом условии достигается ритмичность потока. Обычно наименьший размер захваток принимают из условия загрузки звена рабочих, выполняющих наиболее трудоёмкий процесс в течение смены.

В соответствии с заданием на курсовое или дипломное проектирование студенты разрабатывают проект производства работ (ППР) или отдельные его разделы (технологические карты).

При составлении ППР выбор оптимальных вариантов технологии должен производиться с учётом бетонирования различных типов конструкций – фундаментов, стен, колонн и балок каркасов, перекрытий.

В технологических картах или схемах производства работ, являющихся составными частями ППР, даются развёртки (раскладки) инвентарных щитов, схваток, места установки соединительных замков и креплений, места установки доборов для повторяющихся или наиболее характерных типов конструкций. Указываются схемы раскрепления стоек и места установки раздвижных ригелей и прогонов для опалубки горизонтальных и наклонных поверхностей, приводятся графики движения комплектов опалубки по мере бетонирования и выдерживания конструкций. При

зимнем производстве работ намечают установку понижающих трансформаторов для термообработки бетона, приводят ориентировочные режимы обогрева забетонированных конструкций и расчёт энергоресурсов на термообработку.

На схемах или в технологических картах указываются расположения подъёмных механизмов, складирования арматурных изделий, схемы подъезда спецавтотранспорта, доставляющего бетонную смесь, места расположения бетоноукладочных механизмов и машин.

Для составления спецификаций и определения потребности в материально-технических ресурсах можно воспользоваться данными, приведёнными в таблицах 6.1 и 6.2 или в литературе [8]. Они являются справочными примерами для нескольких технологических схем.

**Таблица 6.1 – Потребность в основных ресурсах для возведения монолитных зданий гражданского и жилищного назначения**

Наименование	Сменный темп бетонирования, м <sup>3</sup> /см					
	40		80		120	
	Ведущая машина					
	Башенный кран КБ. 160.2	Бетононасос СБ-165	Башенный кран КБ. 160.2	Бетононасос СБ-165	Башенный кран КБ. 160.2	Бетононасос СБ-165
Ведущая машина	1	1	1	1	2	1
Башенный кран КБ. 160.2	-	1	-	1	-	1
Автономная распределительная стрела СБ-136 (или механический распределитель)	-	1	-	1	-	1
Бункер переносной БП-1	2	-	4	-	8	-
Автобетоносмеситель СБ-92-1А	3	3	4	4	6	6
Автобетоновоз СБ 113 (самосвал)	5	5	7	7	10	10
Смеситель-перегрузатель СБ 163	1	1	1	1	1	1
Скользкая опалубка	1	1	1	1	1	1
Объёмно-переставная опалубка	4	4	8	8	16	16
Крупнощитовая опалубка	720	720	1800	1800	3600	3600
Несъёмная опалубка	240	240	400	400	800	800
Вибраторы глубинные ИВ-66, ИВ-67	2	2	3	3	5	5
Вибратор поверхностный ИВ-91	1	1	1	1	2	2
Сварочный трансформатор ТСМ-250	1	1	1	1	1	1
Понижающий трансформатор для электротермообработки бетона						
КТП-63ОБ	2	2	5	5	10	10
Компрессор СО-7А	1	1	1	1	2	2
Рабочие	12	12	20	18	35	27
В том числе:						
опалубщики	2	2	4	4	5	5
арматуристки	2	2	4	4	8	8
бетонщики	4	2	6	4	12	4

**Таблица 6.2 – Потребность в основных ресурсах для разрушения монолитных бетонных конструкций при реконструкции объекта**

Наименование	Сменный объём работ по разрушению, м <sup>3</sup>					
	10		30		50	
	Ведущая машина					
	Гидромолот на экскаваторе ЭО-3121	Комплект оборудования для резания, сверления и разрушения	Гидромолот на экскаваторе ЭО-3121	Комплект оборудования для резания, сверления и разрушения	Гидромолот на экскаваторе ЭО-3121	Комплект оборудования для резания, сверления и разрушения
Ведущая машина	1	1	2	3	3	5
Экскаватор ЭО-3121	1	1	1	1	2	2
Кран КС-25-61	1	1	1	1	1	1
Компрессор ДК-9М	1	1	1	1	2	2
Комплект оборудования для газовой резки стали	1	1	1	1	2	2
Ёмкость для складирования обломков	1	1	1	1	2	2
Рабочие	10	10	15	15	25	25

В реальном проекте производства работ может быть предусмотрено использование нескольких типов ведущих машин, средств механизации для доставки бетонной смеси и нескольких типов опалубки.

В курсовом и дипломном проектировании за основу принимают прогрессивную технологию, комплексную механизацию и методы научной организации труда. Их разрабатывают на основе изучения типовых технологи-ческих карт и обобщения передового опыта, отвечающего современному уровню планирования, организации, управления и технологии строительного производства. Они должны предусматривать технологические процессы, которые могли бы обеспечить комплектную поставку материалов; совмещение строительных процессов; внедрение комплексной механизации работ с использованием наиболее производительных машин и средств малой механизации; поставку технологического оборудования укрупнёнными блоками; соблюдение правил охраны труда, техники безопасности и пожарной безопасности.

Особое значение придаётся составлению типовых технологических карт, состоящих из следующих разделов: область применения; организация и технология строительного процесса; технико-экономические показатели; материально-технические ресурсы. В разделе «Область применения» характеризуются особенности производства работ.

При разработке раздела «Технология и организация строительного процесса» следует включить основные указания по подготовке объекта для выполнения этого процесса; план и разрезы зданий и сооружений, схемы организации строительной площадки; методы и последовательность выполнения работ; разбивку здания (сооружения) на захватки и ярусы, типы применяемых подмостей и приспособлений; обоснование принятого типа опалубки и её расчёт (см. приложение М), способа бетонирования и ухода за бетоном; состав бригад и звеньев рабочих с учётом совмещения



профессий; график выполнения работ и калькуляцию трудовых затрат; указания по осуществлению контроля и оценки качества работ, решения по охране труда и технике безопасности.

Примеры технологических схем производства опалубочных, арматурных и бетонных работ приведены в приложении К, в типовых технологических картах и картах трудовых процессов.

График выполнения комплекса монолитных бетонных работ и калькуляцию трудовых затрат разрабатывают на основании ЕНиРов [14].

Пример составления калькуляции трудовых затрат и графика производства работ, а также ориентировочный перечень монолитных бетонных работ приведены в приложениях Н и П и литературе [5, 7, 13, 15, 20].

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(рекомендуемое)

**Методика подбора состава бетонной смеси**

Расчёт и назначение состава бетона (без добавок) производятся в соответствии с требованиями к бетонной смеси.

При подборе состава бетонной смеси с химическими добавками необходимо руководствоваться инструктивно-нормативной документацией на их применение [16].

**Подбор состава бетонной смеси без добавки**

1 Определяем водоцементное отношение

$$\frac{B}{Ц} = \frac{(0,23R_{ц} + 10,2)}{(R_{т} + 8,2)}, \quad (A.1)$$

где  $R_{ц}$  – активность цемента, МПа, рассчитываемая по формуле

$$\overline{P}_{ц} = \frac{R_{ц}}{9,8}, \quad (A.2)$$

$R_{ц}$  – активность цемента, кгс/см<sup>2</sup>, определяемая по ГОСТ 310.4-81\*;

9,8 – коэффициент перехода от кгс/см<sup>2</sup> к МПа;

$R_{т}$  – требуемая прочность бетона, МПа, нормируемая по классам (Ст. СЭВ 1406-78), определяемая по формуле

$$R_{т} = 1,28 \frac{K_{т}}{100} B, \quad (A.3)$$

$K_{т}$  – коэффициент требуемой прочности, принимаемый по ГОСТ 18105-86 в соответствии с заданным коэффициентом вариации по ГОСТ 12586.0-83 и количеством серий образцов при массовом производстве конструкций (при трёх сериях образцов  $K = 93$ );

$B$  – класс прочности по Ст. СЭВ 1406-78 или  $C$  – класс бетона прочности по стандарту СТБ 1544-2005 (таблица А.1).

2 Принимаем расход воды от 190 до 210 л/м<sup>3</sup> [17].

3 Определяем расход цемента  $Ц$ , кг, по формуле

$$Ц = B \frac{B}{Ц}. \quad (A.4)$$

4 Вычисляем суммарный расход заполнителя по формуле

$$П + K_{р} = \rho_{см} - (Ц + B), \quad (A.5)$$

где  $П$  – расход песка, кг/м<sup>3</sup>;

$K_{р}$  – расход крупного заполнителя, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{см}$  – плотность уплотнённой бетонной смеси, приблизительно равна 2400 кг/м<sup>3</sup>.

5 Расход песка и крупного заполнителя определяем по формулам:

$$\Pi = (\Pi + K_p); \quad (A.6)$$

$$K_p = (\Pi + K_p) (1 - r). \quad (A.7)$$

Величина  $r$  назначается в пределах 0,27–0,4 для смеси песков, имеющих модуль крупности  $M_{кр}$ , соответственно 2,5–3,25.

При подборе составов бетонов следует учесть изменения в обозначении классов (по новому стандарту СТБ 1544-2005). Класс бетона по прочности это количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие. Обозначается буквой С и числами, выражающими значения нормативного сопротивления бетона осевому сжатию и его гарантированной прочности, Н/мм<sup>2</sup> (МПа). Например С20/25 (перед чертой указано значение нормативного сопротивления, после черты – гарантированная прочность бетона). Если в документах проставлен класс бетона С20/25, то это значит, что прочность бетона на сжатие (через 28 суток) должна составлять 25 МПа.

В технической, учебной и нормативной литературе до 2003 года прочность бетона характеризовалась классами от В3,5 до В80. Соотношение между классами и характеристиками бетона по прочности на сжатие и растяжение приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Соотношение между классами и характеристиками бетона по прочности на сжатие и растяжение

Класс бетона				Нормативное сопротивление бетона растяжению $f_{ctk, 005}$	Требуемая прочность бетона при подборе состава, МПа	
по ранее действующему ГОСТ 26633-91	по СТБ 1544-2005 стандарту		на сжатие при испытании кубов $f_{c\ mp}$		на растяжение $f_{ct\ mp}$	
	Обозначение	Характеристика прочности бетона, МПа				
		$f_{ск}$	$f_{c\ cube}$			
В10	С8/10	8	10	0,85	12,9	1,2
В12,5	С10/12,5	10	12,5	1,0	16,1	1,4
В15	С12/15	12	15	1,1	19,3	1,5
В20	С16/20	16	20	1,3	25,7	1,8
В22,5	С18/22,5	18	22,5	1,4	28,9	2,0
В25	С20/25	20	25	1,5	32,2	2,1
В27,5	С22/27,5	22	27,5	1,6	35,4	2,2
В30	С25/30	25	30	1,8	38,6	2,5
В35	С28/35	28	35	1,9	45,0	2,6
-	С30/37	30	37	2,0	47,6	2,8
В40	С32/40	32	40	2,1	51,4	2,9

Окончание таблицы А.1

по ранее действующему ГОСТ 26633-91	Класс бетона			Нормативное сопротивление бетона растяжению $f_{стк, 005}$	Требуемая прочность бетона при подборе состава, МПа	
	по СТБ 154-2005 стандарту				на сжатие при испытании кубов $f_{с тр}$	на растяжение $f_{ст тр}$
	Обозначение	Характеристика прочности бетона, МПа				
		$f_{ск}$	$f_{с cube}$			
B45	C45/55	35	45	2,2	57,8	3,0
B50	C40/50	40	50	2,5	64,3	3,5
B55	C45/55	45	55	2,7	70,7	3,7
B60	C50/60	50	60	2,9	77,1	4,0
-	C55/67	55	67	3,0	83,8	4,2
B75	C60/75	60	75	3,1	90,0	4,3
-	C70/85	70	85	3,2	102,5	4,4
-	C80/95	80	95	3,4	115,0	4,7
-	C90/105	90	105	3,5	127,5	4,8

В сборных железобетонных конструкциях при применении арматуры следует учесть изменения в обозначении классов арматуры S (характеризующих механические свойства арматуры). Например S240 соответствует нормативному сопротивлению арматуры 240 МПа (Н/мм<sup>2</sup>) (таблица А.2).

Таблица А.2 – Соответствие обозначений классов арматуры

Класс арматуры по действующим нормам (2003 г.)	Обозначение согласно изменению № 4 к СНиП 2.03.01 (2001 г.)	Обозначение согласно СНиП 2.01.01 (1986 г.)	Вид арматуры
<i>Ненапрягаемая арматура</i>			
S240	A240	A-I	Стержневая гладкая
S400	A400	A-III	Стержневая периодического профиля
S500	A500	-	Стержневая
	Вр-I	Вр-I	Проволока с вмятинами
	B500	-	Проволока гладкая
<i>Напрягаемая арматура</i>			
S800	A800	A-V	Стержневая периодического профиля
S1200	A1200	A-VII	Проволока
S1400	Ø3, Ø4, Ø5, B-II	Ø3, Ø4, Ø5, B-II	Проволока гладкая
	Ø3, Ø4, Ø5, B-II	Ø3, Ø4, Ø5, B-II	Проволока с вмятинами
	K-7, K-19	K-7, K-19	Канат

*ПРИЛОЖЕНИЕ Б*  
(справочное)

**Примеры проектирования состава тяжёлого бетона**

**Пример Б.1.** Требуется рассчитать состав бетонной смеси с подвижностью по осадке конуса 3 см и прочностью бетона, соответствующей классу В40.

*Исходные данные:* портландцемент активностью 50 МПа (500 кгс/см<sup>2</sup>); песок средней крупности  $M_{кр} = 2,7$  с водопотребностью 7 %; щебень гранитный фракции 3–10 мм.

*Решение.* По формулам (А.2) и (А.4) определяем соответственно требуемую прочность бетона  $R_T$  и активность цемента  $R_{ц}$ , МПа.

При испытании трёх серий образцов:

$$R_T = 1,28 \cdot \frac{93}{100} \cdot 40 = 47,61 \text{ МПа};$$

$$R_{ц} = \frac{500}{9,8} = 51,02 \text{ МПа}.$$

2 По формуле (А.1) находим:

$$\frac{В}{Ц} = \frac{0,23 \cdot 51,02 + 10,2}{47,61 + 8,2} = 0,39;$$

3 Расход воды принимаем 200 л/м<sup>3</sup>;

4 Расход цемента

$$Ц = 200 : 0,39 = 513 \text{ кг/м}^3.$$

5 Суммарный расход заполнителей

$$П + K_p = 2400 - (513 + 200) = 1687 \text{ кг/м}^3;$$

6 Расход песка и крупного заполнителя определяем по формулам (А.6) и (А.7) соответственно:

$$П = 1687 \cdot 0,34 = 574 \text{ кг/м}^3;$$

$$K_p = 1687 \cdot 0,66 = 1113 \text{ кг/м}^3.$$

**Пример Б.2.** Требуется рассчитать состав бетонной смеси с подвижностью по осадке конуса 3 см и прочностью бетона, соответствующей классу С35/45.

*Исходные данные:* портландцемент активностью 60 МПа (600 кгс/см<sup>2</sup>), заполнители те же, что и в примере Б.1.

**Р е ш е н и е**

1 По формулам (А.2) и (А.3) определяем соответственно требуемую прочность бетона  $R_T$  и активность цемента  $R_{Ц}$ , МПа:

$$R_T = 1,28 \cdot \frac{93}{100} \cdot 45 = 53,57 \text{ МПа};$$

$$R_{Ц} \frac{600}{9,8} = 61,22 \text{ МПа.}$$

2 Находим водоцементное отношение

$$\frac{В}{Ц} = \frac{0,23 \cdot 61,22 + 10,2}{53,57 + 8,2} = 0,39,$$

3 Расход воды принимаем 205 л/м<sup>3</sup>.

4 Определяем расход цемента по формуле (А.4):

$$Ц = 205 : 0,39 = 526 \text{ кг/м}^3.$$

5 Суммарный расход заполнителей

$$П + К_p = 2400 - (526 + 205) = 1669 \text{ кг/м}^3.$$

6 Расход песка и крупного заполнителя соответственно составит:

$$П = 1669 \cdot 0,34 = 568 \text{ кг/м}^3;$$

$$К_p = 1669 \cdot 0,66 = 1102 \text{ кг/м}^3.$$

**Пример Б.3** При проектировании и заказе бетонной смеси её характеристики указываются в сокращённом обозначении бетонной смеси. Например, БСГТ С30/37 П1 F300 W4 СТБ 1035-96 обозначает бетонную смесь (БС), готовую к употреблению (Г), тяжёлую (Т), у которой класс бетона по прочности на сжатие С30/37, марка по удобоукладываемости (подвижности) П1, морозостойкости F300 и водонепроницаемости W4.

Например, БССЛ С16/20 ПЗ F200 W2 Д800 СТБ1035-96 обозначает смесь сухую лёгкого бетона с соответствующими характеристиками (Д800 означает марку по плотности 800 кг/м<sup>3</sup>).

*ПРИЛОЖЕНИЕ В*  
*(рекомендуемое)*

**Проектирование состава бетона  
с пластифицирующей добавкой (С-3)**

1 Находим количество добавки  $D$ , % массы сухого цемента:

$$D = 0,04 \cdot (\Gamma - 10), \quad (B.1)$$

где  $\Gamma$  – нормальная густота цементного теста, % (НГЦТ).

2 Определяем водоцементное отношение в зависимости от требуемой прочности бетона:

$$\frac{B}{Ц} = \frac{A \bar{R}_ц}{R_T + 0,5 \bar{R}_ц}, \quad (B.2)$$

где  $A$  – безразмерный эмпирический коэффициент, зависящий от расхода цемента, пластичности и жёсткости бетонной смеси, крупности песка и щебня, НГЦТ [17].

Например, для бетонов, применяемых при производстве виброгидропрессованных труб с учётом перехода от кгс/см<sup>2</sup> к МПа, коэффициент  $A = 0,53$ .

3 По графику (рисунок В.1) находим количество воды по выбранной подвижности и крупности щебня. Графики получены для бетона на щебне двух фракций, песке средней крупности водопотребностью 7 %, при расходе портландцемента до 450 кг/м<sup>3</sup> бетона. При применении песка с водопотребностью менее 7 % расход воды необходимо уменьшить на 5 л на каждый процент уменьшения водопотребности. При расходе цемента более 450 кг/м<sup>3</sup> увеличивать на 0,85 л на каждые 10 кг сверхуказанной величины.

4 Расход цемента определяем по формуле (А.4).

5 Определяем концентрацию исходного раствора добавки, %, по графику (рисунок В.2) в зависимости от её плотности  $d$ .

6 Уменьшаем количество воды на объём, содержащийся в исходном растворе добавки. Окончательный объём воды

$$B_o = B - \frac{ЦД(100 - c)}{100}, \quad (B.3)$$

где  $B$  – вода, л, ранее определенная по графикам с учётом поправок.

7 Количество исходного раствора добавки  $P$ , л, определяем по формуле

$$P = \frac{ЦД}{cd}, \quad (B.4)$$

где  $c$  – концентрация раствора добавки, %;

$d$  – плотность исходного раствора добавки, кг/л.

Расход крупного и мелкого заполнителя определяем по вышеизложенной методике.

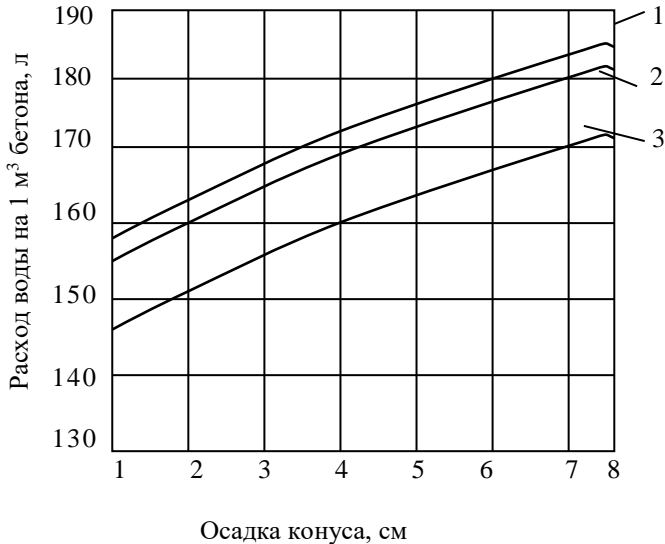


Рисунок В.1 – Водопотребность бетонной смеси с добавкой С-3:  
1 – щебень фракции 5–10 мм; 2 – то же 5–15 мм; 3 – смесь щебня фракции 5–10 и 10–20 мм.

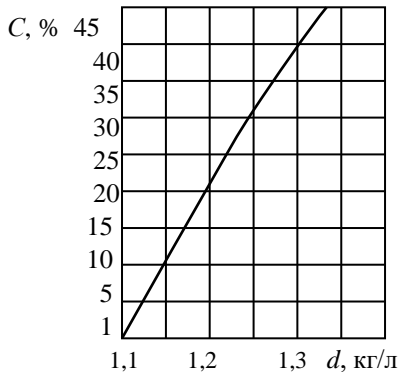


Рисунок В.2 – Зависимость концентрация – плотность для водных



растворов суперпластификатора С-3  
**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
(справочное)

**Примеры проектирования состава бетона  
с пластифицирующей добавкой**

**Пример Г.1.** Требуется рассчитать состав бетонной смеси с добавкой на 1 м<sup>3</sup> бетона класса С30/37 для подвижности по осадке конуса 4 см.

*Исходные данные:* портландцемент активностью 51 МПа (510 кгс/см<sup>2</sup>), заполнители те же, что и в примере Б.1. Пластифицирующая добавка – раствор С-3 с плотностью  $d = 1,181$  кг/л.

Нормальная густота цементного теста по ГОСТ 310.1-76\* НГЦГ = 26,25 %.

**Р е ш е н и е**

1 По формуле (В.1) рассчитываем необходимое количество добавки:

$$Д = 0,04 \cdot (26,25 - 10) = 0,65 \%$$

По графику (см. рисунок В.1) определяем количество воды, требуемое для получения заданной подвижности смеси с добавкой. Для ОК = 4 см оно составит 173 л на 1 м<sup>3</sup> бетона.

2 По формулам (А.2) и (А.3) определяем соответственно  $R_r$  и  $R_{ц}$ , МПа:

$$R_r = 1,28 \cdot \frac{93}{100} \cdot 40 = 47,61 \text{ МПа};$$

3 Определяем по формуле (В.2) водоцементное отношение

$$\frac{В}{Ц} = \frac{0,53 \cdot 52,04}{47,61 + 0,5 \cdot 52,04} = 0,375.$$

4 Расход цемента

$$Ц = \frac{173}{0,375} = 461 \text{ кг/м}^3.$$

5 Так как значение расхода цемента получилось более 450 кг, то увеличиваем расход воды на  $1,1 \cdot 0,85 = 1$  л:

$$В = 173 + 1,1 = 174,1 \approx 174 \text{ л.}$$

6 Находим концентрацию исходного раствора добавки по графику

(см. рисунок В.2) при  $d = 1,181$  кг/л,  $c = 36$  %.

7 Уточняем расход воды затворения по формуле (В.3):

$$V_0 = 174 - \frac{461 \cdot 0,65 \cdot 64}{100 \cdot 36} = 165,6 \approx 166 \text{ л.}$$

8 Расход добавки определяем по формуле (В.4):

$$P = 174 - \frac{461 \cdot 0,65}{36 \cdot 1,181} = 7,04 \approx 7 \text{ л.}$$

9 Суммарный расход заполнителей

$$\Pi + K_p = 2400 - (461 + 174) = 1765 \text{ кг.}$$

10 Определяем расход песка и крупного заполнителя:

$$\Pi = 1765 \cdot 0,34 = 600 \text{ кг;}$$

$$K_p = 1765 \cdot 0,66 = 1165 \text{ кг.}$$

11 Окончательный вариант состава 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси с суперпластификатором С-3:

Ц = 461 кг; П = 600 кг; Щ = 1165 кг; V<sub>0</sub> = 166 л; 36%-ного исходного раствора С-3 – 7 л.

12 Расчёт показал, что применение С-3 позволяет получить заданную прочность бетона при пониженном расходе цемента. Если расход цемента принять равным 550 кг на 1 м<sup>3</sup>, то подбор состава корректируют в следующем порядке:

а) расход воды в случае повышенного расхода цемента

$$V = 173 + 8,5 = 181,5 \text{ л/м}^3 \approx 182 \text{ л/м}^3;$$

б) значение В/Ц:  $182 / 550 = 0,33$ ; а суммарный расход заполнителя –  $\Pi + K_p = 2400 - (550 + 182) = 1668$  кг;  $\Pi = 1668 \cdot 0,34 = 567$  кг;  $\text{Щ} = 1668 \times 0,66 = 1101$  кг;

в) уточняем расход воды по формуле (В.3):

$$V = 182 - \frac{550 \cdot 0,65 \cdot 64}{100 \cdot 36} = 175,6 \approx 176 \text{ л;}$$

г) количество добавки исходного раствора

$$P = \frac{550 \cdot 0,65}{36 \cdot 1,181} = 8,4 \text{ л;}$$

д) проверим прочность бетона, определяемую по формуле (В.2), решённой относительно В/Ц:

$$R_{\tau} = 0,53 \cdot \frac{510}{9,8} \cdot \left( \frac{550}{182} - 0,5 \right) = 69,56 \text{ МПа.}$$

**Пример Г.2.** Требуется рассчитать состав бетонной смеси с добавкой на  $1 \text{ м}^3$  бетона класса С35/45 для подвижности по осадке конуса 4 см.

*Исходные данные:* портландцемент активностью 60 МПа (600 кгс/см<sup>2</sup>), НГЦТ = 25 %. Заполнители те же, что и в примере Б.1. Пластифицирующая добавка – раствор С-3 с плотностью  $d = 1,181 \text{ кг/л}$ .

**Р е ш е н и е**

1 По формуле (В.1) рассчитываем необходимое количество добавки:

$$Д = 0,04 \cdot (25 - 10) = 0,6 \text{ \%}.$$

По графику (см. рисунок В.1) определяем количество воды, требуемое для получения заданной подвижности смеси с добавкой. Для ОК = 4 см оно составит 173 л на  $1 \text{ м}^3$  бетона.

2 По формулам (А.2) и (А.3) определяем соответственно  $R_{\tau}$  и  $R_{ц}$ , МПа:

$$R_{\tau} = 1,28 \cdot \frac{93}{100} \cdot 45 = 53,57 \text{ МПа};$$

$$R_{ц} = \frac{600}{9,8} = 61,22 \text{ МПа.}$$

3 Определяем по формуле (В.2) водоцементное отношение

$$\frac{В}{Ц} = \frac{0,53 \cdot 61,22}{53,57 + 0,5 \cdot 61,22} = 0,385.$$

4 Расход цемента

$$Ц = \frac{173}{0,385} = 450 \text{ кг/м}^3.$$

5 Находим концентрацию исходного раствора добавки по графику (см. рисунок В.2) при  $d = 1,181 \text{ кг/л}$ ,  $c = 36 \text{ \%}$ .

6 Уточняем расход воды затворения по формуле (В.3):

$$В_0 = 173 - \frac{450 \cdot 0,6 \cdot 64}{100 \cdot 36} = 168,2 \approx 168 \text{ л.}$$

7 Расход добавки определяем по формуле (В.4):

$$Р = \frac{450 \cdot 0,6}{36 \cdot 1,181} = 6,35 \approx 6,4 \text{ л.}$$

8 Суммарный расход заполнителей

$$П + К_p = 2400 - (450 + 173) = 1777 \text{ кг.}$$

9 Определяем расход песка и крупного заполнителя:

$$\Pi = 1777 \cdot 0,34 = 604 \text{ кг};$$

$$K_p = 1777 \cdot 0,66 = 1173 \text{ кг}.$$

*ПРИЛОЖЕНИЕ Д*  
(справочное)

**Характеристики бадей для подачи бетона**

*Таблица Д.1 – Технические характеристики бадей (бункеров)*

Показатель	Тип бадей (бункеров)																
	поворотные										неповоротные						
Вместимость бадьи (объём номинальный), м <sup>3</sup>	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	1,6	2	2,4	3,2	6,4	0,3	0,5	0,8	1	1,6	3,2	6,4
Габаритные размеры, мм:																	
длина	3260	2820	3612	3000	4014	4350	3600	4000	3910	4510	900	1200	1500	1600	-	-	-
ширина	1040	1150	1232	1700	1232	2480	2250	2550	3010	3000	900	1200	1180	1600	1800	2150	-
высота	750	900	1040	1060	1040	860	1040	1950	1890	1950	760	1300	1310	1520	2200	2240	-
Масса бадьи, кг	315	370	490	700	617	1060	880	1630	2200	3300	125	280	445	350	994	1697	3300
То же с бетонной смесью, кг	-	2290	-	3580	-	4900	-	8830	-	-	875	1530	2445	-	-	-	-
Размеры выгрузочного отверстия, мм	350 × 600										-	250 × 600	-	350 × 600	500 × 640	600 × 800	-

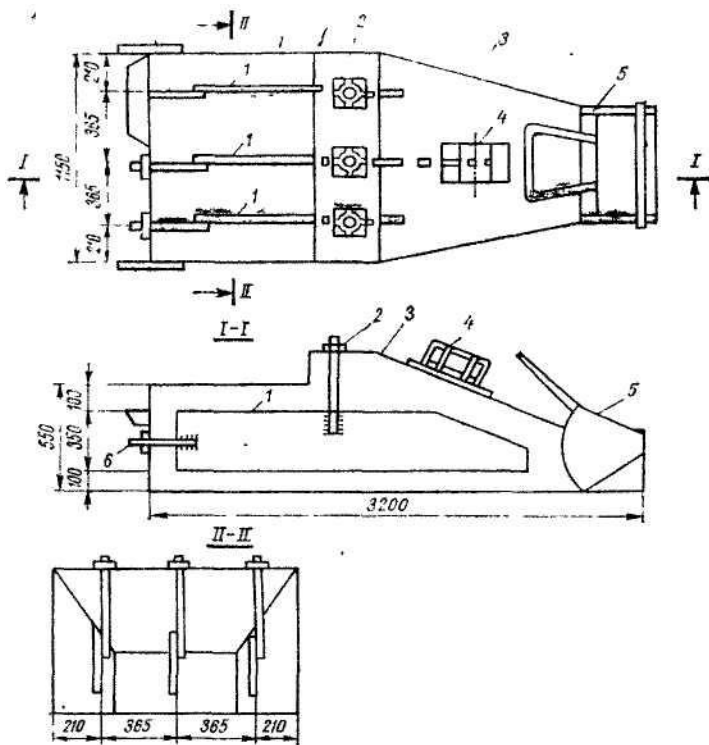


Рисунок Д.1 – Принципиальная схема бабды для электроразогрева бетонной смеси:  
 1 – электрод пластинчатый; 2 – крепление; 3 – бабды; 4 – вибратор; 5 – затвор;  
 6 – контактный электрод

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
(справочное)

**Характеристики бетононасосов**

*Таблица Е.1 – Технические характеристики бетононасосных установок*

Показатель	Тип бетононасоса					
	С-284А (СБ-7)	С-296 (С-296А)	СБ-95 (СБ-95А)	СБ-165	СБ-161	СБ-123
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	40	10	25	5–20	5–65	40
Диаметр бетоновода, мм	280	150	150	125	125	125
Объём приёмного бункера, м <sup>3</sup>	2,8	0,45	0,6 (0,4)	0,5	0,7	0,7
Дальность подачи бетонной смеси, м:						
	по горизонтали	250	250	250	300	300
по вертикали	30	40	50	80	80	50
Габариты, мм:	длина	5940	2500	3880	-	-
	ширина	2040	1350	1900	-	-
	высота	3175	1950	1435	-	-
Наибольшая крупность заполнителя, мм	70	40	40	40	40	40
Подвижность бетонной смеси ОК, см	4–12	4–12	4–12	-	-	4–14
Тип бетононасоса	С механическим приводом			Прицепной	Стационарный	-

*Таблица Е.2 – Технические характеристики бетононасосных установок*

Показатель	Тип бетононасоса					
	СБ-126 (СБ-126А)	БН-80-20	БН-40	СБ-9	АБН-60 (АБН-60МГ)	
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	15–65	80	5–40	10	60	
Диаметр бетоновода, мм	125	125	125	150	100 (125)	
Объём приёмного бункера, м <sup>3</sup>	0,7	0,4	0,4	0,45	0,4	
Дальность подачи бетонной смеси, м:						
	по горизонтали	400	200 (400)	200	250	180 (200)
по вертикали	80	80	60	40	35 (60)	
Габариты, мм:	длина	10000	11070	-	2500	8880
	ширина	2500	2630	-	1350	2600
	высота	3800	3800	-	1950	3500
Наибольшая крупность заполнителя, мм	40	40	40	40	20 (40)	
Подвижность бетонной смеси ОК, см	4–14	4–14	-	5–12	4–12	
Тип бетононасоса	Автобетононасос с распределительной стрелой		На автоприцепе		Автобетононасос	

**Таблица Е.3 – Характеристики трёхметровых звеньев бетоноводов**

Характеристика	Внутренний диаметр бетоновода, мм		
	280	207	150
Масса звена бетоновода с замками, кг	250	170	65
Масса бетонной смеси в звене, кг	390	260	115
Масса звена с бетонной смесью, кг	640	430	180



*ПРИЛОЖЕНИЕ Ж*  
(справочное)

**Технические характеристики автобетоносмесителей**

Показатель	СБ-69Б	СБ-92-1А	СБ-159	СБ-127	СБ-130	АМ-6ЕН	АМ-6	42 184-03	АМ-9НА
Объём перевозимой смеси (ёмкость смесительного барабана по готовому замесу), м <sup>3</sup>	2,5	4	5	6	8	6	6	7	9
Привод барабана	Механический			Гидравлический					
Высота загрузки материала, мм	3420	3350	3520	3480	3800	3675	3675	3500	3800
Объём бака для воды, л	650	650	850	850	850	400	400	1750	400
Габаритные размеры, мм									
длина	6630	7280	7380	7380	11200	9930	9930	2630	11870
ширина	2630	2500	2500	2500	2500	2500	2500	3500	2630
высота	3420	3350	3520	3480	3650	3640	3540	-	3800

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

(рекомендуемое)

### Состав комплектов машин и оборудования для работ нулевого цикла и возведения монолитного здания точечного типа высотой до 60 м

Машины и оборудование	Комплекты машин и оборудование для объектов					
	Фундаменты и массивы			Монолитное здание точечного типа		
	1	2	3	4	5	6
Автобетоносмеситель СБ-92А с объёмом готового замеса 3,5 м <sup>3</sup>	1	-	-	-	-	-
Автосамосвал МАЗ-5049, грузоподъёмность 8 т, объём смеси до 4 м <sup>3</sup>	-	1	1	1	1	-
То же ЗИЛ-ММЗ-55к, грузоподъёмность 5 т, объём смеси до 2 м <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	1
Автобетононасос БН-80-20М со стрелой 17 м, Т = 1680 ч	1	1	-	-	-	-
Стационарный бетононасос БН-60	-	-	-	1	-	-
Стационарный бетононасос БН-30	-	-	-	-	1	-
Гидравлический стреловой бетоноукладчик с вылетом 18 м	-	-	-	1	-	-
Круговой стреловой бетоноукладчик с вылетом 15 м	-	-	-	-	1	-
Бункер перегрузочный гидравлический вместимостью 4 м <sup>3</sup>	-	1	-	1	-	-
Опрокидная бадья вместимостью 1 и 2 м <sup>3</sup>	-	-	4	-	4	4
Кран башенный КБ-160-2 (КБ-401) грузоподъёмностью 7,5/10 т, вылет 25/13 м, высота до 60 м	-	-	-	-	1-2	1-2
Кран гусеничный КГ-25 (МКГ-25) грузоподъёмностью 25/5,2 т, вылет 4-15 м,	-	-	1-2	-	-	-

Высота до 18 м						
----------------	--	--	--	--	--	--

ПРИЛОЖЕНИЕ К  
(справочное)

Схема приобъектного бетонирования

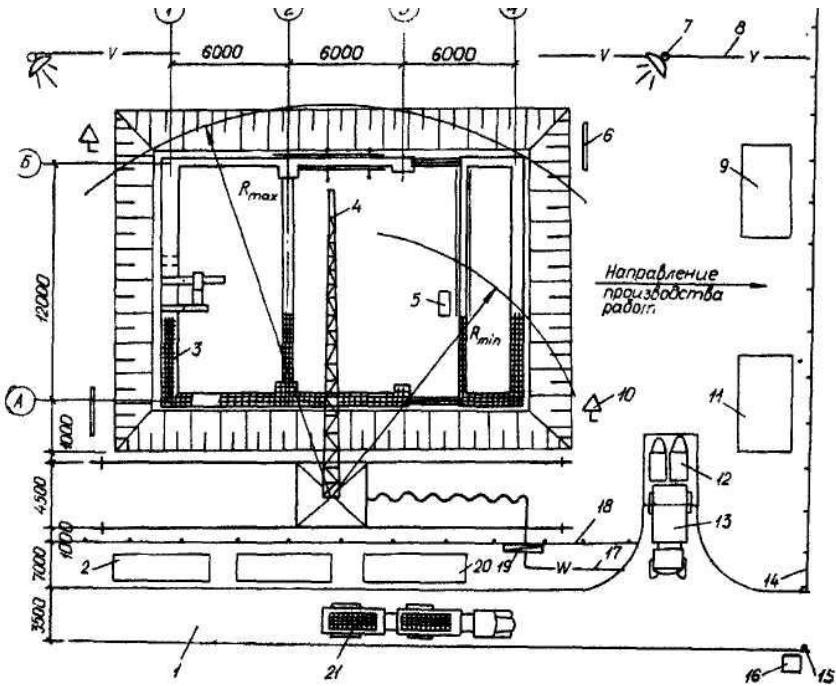


Рисунок К.1 – Технологическая схема производства опалубочных, арматурных и бетонных работ:

- 1 – временная дорога; 2 – площадка складирования арматуры; 3 – строящийся объект;
- 4 – башенный кран КБ-100.0; 5 – сварочный аппарат; 6 – пожарный щит; 7 – прожектор;
- 8 – воздушная ЛЭП; 9 – инструментальная; 10 – предупредительные знаки; 11 – прорабская;
- 12 – бадя поворотная; 13 – автосамосвал ЗИЛ-ММЗ-555; 14 – ограждение строительной площадки;
- 15 – ворота; 16 – проходная; 17 – кабель; 18 – ограждение подкранового пути;
- 19 – распределительный щит; 20 – площадка складирования опалубки; 21 – машина с прицепом для доставки арматуры и опалубки

**ПРИЛОЖЕНИЕ Л**  
(справочное)

**Характеристики противоморозных добавок для бетонов**

**Таблица Л.1 – Показатели водных растворов противоморозных добавок и замедлителей схватывания**

Концентрация, %	Плотность раствора при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	Температурный коэффициент плотности раствора	Содержание безводных солей, кг		Температура замерзания раствора, °С
			в 1 л раствора	в 1 кг раствора	
<i>Хлорид натрия ХН</i>					
2	1,013	0,00024	0,020	0,02	1,2
8	1,056	0,00034	0,084	0,08	-5,2
14	1,101	0,00042	0,154	0,14	-10,1
19	1,140	0,00048	0,217	0,19	-15,3
23	1,192	0,00052	0,270	0,23	-21,1
<i>Хлорид кальция ХК</i>					
4	1,032	0,00025	0,041	0,04	-2
10	1,084	0,00031	0,108	0,10	-5,7
14	1,120	0,00035	0,157	0,14	-9,5
19	1,168	0,00041	0,222	0,19	-15,9
31	1,293	0,00053	0,401	0,31	-55
<i>Нитрит натрия НН<sub>1</sub></i>					
4	1,024	0,00027	0,041	0,04	-1,8
12	1,078	0,00039	0,129	0,12	-5,8
19	1,129	0,00049	0,214	0,19	-10
25	1,176	0,00060	0,293	0,25	-15,7
28	1,198	0,00065	0,336	0,28	-19,6
<i>Поташ П</i>					
4	1,035	0,00027	0,041	0,04	-1,3
14	1,129	0,00039	0,158	0,14	-5,4
22	1,211	0,00046	0,266	0,22	-10,3
27	1,265	0,00049	0,341	0,27	-15,1
34	1,344	0,00053	0,457	0,34	-24,8
40	1,414	0,00055	0,565	0,40	-36,5
<i>Нитрат кальция НК</i>					
5	1,04	0,00029	0,058	0,063	-1,7
15	1,12	0,00041	0,170	0,150	-5,1
24	1,20	0,00046	0,285	0,237	-10,1
30	1,26	0,00050	0,380	0,300	-15,6
39	1,36	0,00056	0,536	0,393	-21,6
43	1,42	0,00059	0,620	0,427	-28,2

Окончание таблицы Л.1

Концентрация, %	Плотность раствора при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	Температурный коэффициент плотности раствора	Содержание безводных солей, кг		Температура заморозания раствора, °С
			в 1 л раствора	в 1 кг раствора	
<i>Мочевина М</i>					
5	1,015	0,00024	0,058	0,047	-2,5
17	1,050	0,00030	0,182	0,173	-5,6
30	1,085	0,00036	0,305	0,297	-8,3
<i>Нитрит-нитрат кальция ННК</i>					
12	1,03	0,00031	0,132	0,12	-5,4
18	1,149	0,00037	0,207	0,18	-9,2
24	1,205	0,00044	0,289	0,24	-14,3
30	1,255	0,00051	0,377	0,30	-21,5
35	1,298	0,00055	0,427	0,35	-29,4
<i>Нитрат кальция + мочевина НКМ</i>					
4	1,018	0,00023	0,040	0,04	-1,2
18	1,093	0,00035	0,197	0,18	-5,5
32	1,185	0,00046	0,379	0,32	-9,9
42	1,263	0,00053	0,530	0,42	-15
48	1,321	0,00058	0,640	0,40	-21,7
<i>Нитрат-нитрит + хлорид кальция ННХК</i>					
12	1,105	0,00033	0,133	0,12	-8,6
18	1,157	0,00039	0,208	0,18	-16,6
24	1,210	0,00045	0,290	0,24	-29,4
30	1,263	0,00052	0,379	0,30	-48
<i>Сульфитно-дрожжевая бражка СДБ</i>					
5	1,021	–	0,051	0,05	–
10	1,043	–	0,104	0,10	–
15	1,068	–	0,160	0,15	–
20	1,091	–	0,218	0,20	–
30	1,144	–	0,343	0,30	–
40	1,202	–	0,480	0,40	–
50	1,266	–	0,633	0,50	–
<i>Пластификатор адипиновый щелочной ПАЩ-1</i>					
5	1,031	–	0,051	0,05	–
10	1,066	–	0,106	0,10	–
15	1,099	–	0,165	0,15	–
<i>Жидкое стекло состава Na<sub>2</sub>D (1,7–3,4)</i>					
4	1,033	–	0,041	0,04	–
12	1,111	–	0,133	0,12	–
22	1,221	–	0,269	0,22	–
30	1,315	–	0,415	0,30	–
38	1,415	–	0,541	0,38	–
Примечание – Подробные характеристики и свойства химических противоморозных добавок приведены в Руководстве по применению химических добавок в бетон [16].					

**Таблица Л.2 – Продолжительность выдерживания бетонов с противоморозными добавками**

Добавки	Расчётная температура твердения бетона, °С	Время выдерживания, сут, для бетона класса		
		С12/15	С20/25	С30/37
НН	-5	7	6	4
	-10	12	9	7
	-15	19	14	11
ХК + ХН	-5	6	5	4
	-10	9	7	5
НЛМ	-15	19	14	10
	-20	58	45	28
НК + М	-5	7	6	5
	-10	12	9	7
ННК + М	-15	19	14	10
	-20	28	19	14
ННХК	-5	5	4	3
	-10	9	7	5
ННХК + М	-15	11	9	7
	-15	14	11	9
ХК + НН	-25	40	28	20
П	-5	3	2	1
	-10	7	5	4
	-15	9	7	5
	-20	9	7	5
	-25	14	10	7

**ПРИЛОЖЕНИЕ М**  
**(рекомендуемое)**

**Расчет опалубки**

Прочностные подробные расчеты опалубки следует выполнять по методике, изложенной в [21].

Для предварительных расчетов можно воспользоваться упрощенной методикой, изложенной ниже.

При расчете опалубки на прочность следует определить шаг  $l$  поперечных стоек для удовлетворения условия допустимых прогибов боковых стенок опалубки. При предварительном выборе конструкции опалубки следует руководствоваться типовыми решениями и справочными данными [21].

Например, для бетонирования балки длиной  $L$  и высотой  $H$  следует определить шаг поперечных стоек  $l$  деревянной опалубки. Принимаем боковую стенку опалубки, состоящую из трех досок размером  $h \times b$  ( $h = 20 \dots 30$  мм;  $b = 15 \dots 20$  см).

Наибольшую нагрузку от бетонной смеси, технологического инструмента и механизмов от вибрирования воспринимает в опалубке нижняя доска, которую и принимаем для дальнейшего рассмотрения (рисунок М.1).

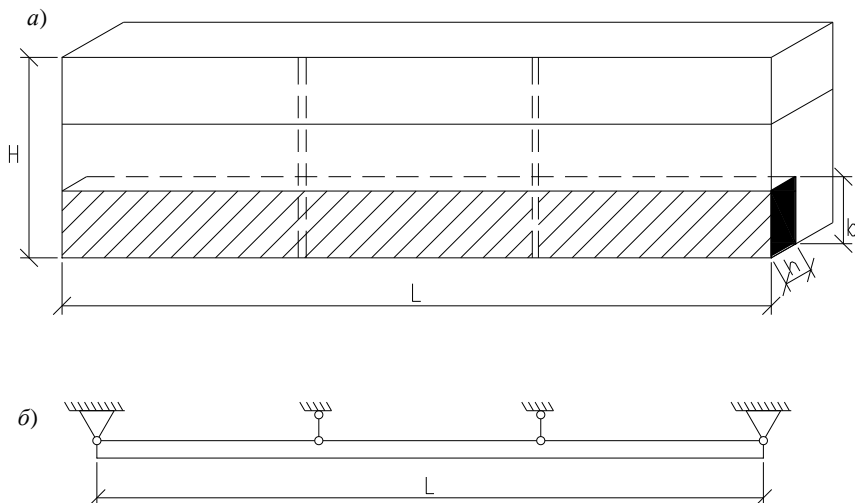


Рисунок М.1 (начало) – Схемы к расчету опалубки:

$a$  – общая схема опалубки;  $б$  – схема неразрезанной балки;  $в$  – схема разрезанная балка;



$z$  – эпюра моментов;  $\delta$  – схема изгиба балки (доски);  
 $\delta$  – неразрезанная балка;  $z$  – эпюра моментов

6)

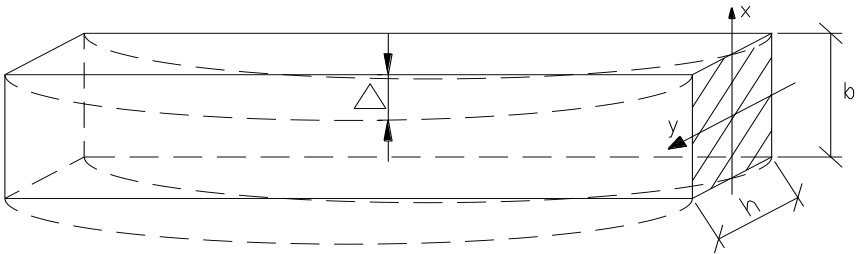
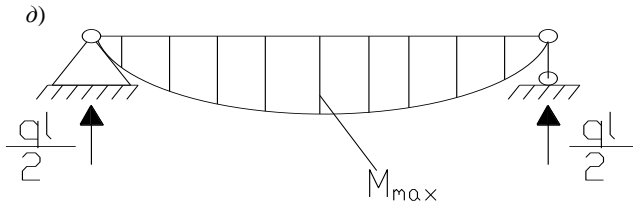
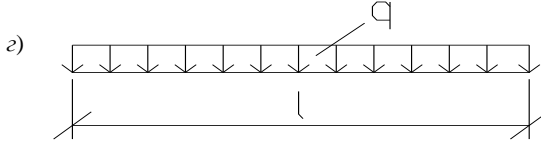
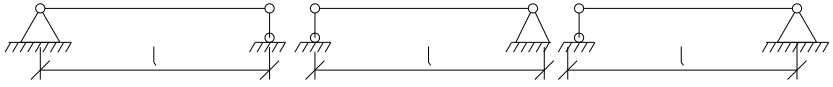


Рисунок М.1 (окончание)

Расчеты по определению шага  $l$  поперечных стоек опалубки:

1 На первом этапе расчета собирают все нагрузки на опалубку и представляют в виде равномерно распределенной нагрузки  $q$ , приходящейся на один метр длины доски.

При сборе нагрузок на опалубку следует принимать во внимание нормативные нагрузки вертикальные и горизонтальные и коэффициент перегрузки [21].

а) Нормативные нагрузки вертикальные:

- вес опалубки – 1 м<sup>3</sup> древесины, 6000 Н хвойных работ и 8000 Н лиственных пород;
- вес свежееуложенной бетонной смеси – 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси – 25000 Н;
- вес арматуры – на 1 м<sup>3</sup> ж.-б. конструкции – 1000 Н;
- От людей и транспортных средств – 15000 н/м<sup>2</sup> конструктивных элементов; 2500 Н/м палуб, настилов;
- масса рабочего с грузом – 130 кг;
- давление колес двухколесной тележки – 250 кг;
- иной сосредоточенный груз – не менее 130 кг;
- нагрузка от вибрирования бетонной смеси 2000 Н/м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности (только при отсутствии нагрузок от людей и транспортных средств).

б) Нормативные нагрузки горизонтальные:

- нормативные ветровые в соответствии с [21];
- давление свежееуложенной бетонной смеси на боковые элементы опалубки;
- от сотрясений, возникающих при выгрузке бетонной смеси в опалубку;
- от вибрирования бетонной смеси – 4000 Н/м<sup>2</sup> вертикальной поверхности опалубки.

2 Нижнюю доску, воспринимающую наибольшие нагрузки, можно рассматривать как неразрезанную балку ( см. рисунок М.1, б).

Для быстрых упрощенных расчетов ее можно представить в виде разрезанной балки (например, на 3 части), и каждую ее часть (длиной  $l$ ) как балочку на двух опорах. При этом длина балочки  $l$  соответствует шагу поперечных стоек опалубки (см. рисунок М.1, в).

3 Рассматривая балочку длиной  $l$  (на двух опорах), определяют опорные реакции ( $gl/2$ ) при равномерно распределенной нагрузке  $q$ . Строят эпюру моментов и определяют величину максимального момента (см. рисунок М 1, г):

$$M_{\max} = \frac{ql}{2} \cdot \frac{l}{2} - q \frac{l}{2} \cdot \frac{l}{4} = 2 \frac{ql^2}{8} - \frac{ql^2}{8} = \frac{ql^2}{8}.$$

4 Определяют максимальные напряжения  $\delta_{\max}$  с учетом  $M_{\max}$ .

$$\delta_{\max} = \frac{M}{J_x} y_{\max} = \frac{M}{W_x} = \frac{ql^2}{8} / \left( \frac{bh^2}{6} \right) \leq [\delta_{\text{доп}}^{\text{изг}}],$$

где  $M$  – максимальный момент;

$J_x$  – момент инерции относительно оси  $x$  (поперечное сечение доски поворачивается относительно оси  $x$  (см. рисунок М.1, д).

$y_{\max}$  – расстояние от оси  $x$  до наиболее удаленной точки поперечного сечения (в нашем примере  $y_{\max}$  – расстояние от оси  $x$  до наиболее уда-

ленной точки поперечного сечения,  $y_{\max} = \frac{h}{2}$ );

$b$  и  $h$  – размеры поперечного сечения доски опалубки;

$\delta_{\text{доп}}^{\text{изг}}$  – допускаемые напряжения на изгиб (для сосны – 7–10 МПа, для стали – 200 МПа).

5 Определяем длину балочки  $l$ , которая и является шагом поперечных стоек опалубки, из формулы для  $\delta_{\text{max}}$ :

$$l = \sqrt{\frac{[\delta_{\text{доп}}^{\text{изг}}] \cdot 8bh^2}{6q}}.$$

6 Дополнительно полезно произвести расчет доски на жесткость (т. е. по перемещениям). Следует уечь, что прогиб  $\Delta$  элементов опалубки под действием нагрузок не должен превышать указанных значений  $\Delta_{\text{доп}}$ . [21]:

а)  $\Delta = \frac{1}{400}$  – для опалубки открытых лицевых поверхностей;

б)  $\Delta = \frac{1}{250}$  – для скрытых поверхностей.

Прогиб  $\Delta$  доски опалубки определяется:

$$\Delta \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EJ_x} \leq \Delta_{\text{доп}},$$

где  $J_x$  – момент инерции относительно  $x$  (рисунок М, д);

$E$  – модуль упругости ( $E_{\text{древеси́ны вдоль волокон}} = 1 \cdot 10^4$  МПа,

$E_{\text{стали}} = 2 \cdot 10^5$  МПа).

**ПРИЛОЖЕНИЕ Н**

*(рекомендуемое)*

**Фрагмент калькуляции трудовых затрат и графика производства монолитных бетонных работ**

*Таблица Н.1 – Пример калькуляции трудовых затрат и графика производства монолитных бетонных работ*

Шифр норм	Наименование работ  по ЕНиР	Единица измерения	Объём работ	Состав звена по нормам ЕНиР				Нормативные затраты труда на единицу измерения, чел. · ч	Затраты труда на объём работ, чел. · ч	Расценка на единицу измерения работ, р.	Зарплата на весь объём работ, р.	Продолжительность работ, дн.	Календарные дни				
				Профессия	Разряд	Количество людей	1						2	Март		Апрель	
														29	30	31	1
				Рабочие дни									1	2	3	4	5
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
§ 1-6	Выгрузка инвентаря и приспособлений с автомашины краном	100 мест	0,1	Машинист Такелажник	5	1	5,6	0,56	3,94	0,394	0,14	■					
§ 4-1-42	Приём бетона из кузова автосамосвала в бункера	100 м <sup>3</sup>	1,015	Бетонщик	2	1	8,5	8,7	4,19	4,27	0,5	—	—	—	—	—	—
§ 1-6	Подача бетона башенным краном грузоподъёмностью 1,5 т в бункерах ёмкостью до 1,3 м <sup>3</sup>	1 м <sup>3</sup>	101,5	Машинист Такелажник	5	1	0,07	7,1	0,049	5,00	1	—	—	—	—	—	—
§ 4-1-37	Укладка бетона в фундаменты	1 м <sup>3</sup>	100	Бетонщик	4	1	0,36	36,0	0,217	21,70	4	■	■	■	■	■	■
Сборник местных норм	Очистка бункера от налипшего бетона	1 бунк.	4	«		1	0,3	1,20	0,148	0,592	0,15	—	—	—	—	—	—

*ПРИЛОЖЕНИЕ П*  
*(рекомендуемое)*

**Ориентировочный перечень монолитных бетонных работ**

*1 Арматурные работы*

- 1.1 Выгрузка башенным краном с автомашины:
  - инвентаря и приспособлений;
  - арматурных сеток, каркасов и отдельных стержней в пакетах.
- 1.2 Укладка в пакеты арматурных стержней.
- 1.3 Установка краном арматурных сеток.
- 1.4 Работа машиниста крана.
- 1.5 Подача башенным краном арматурных стержней и сеток в пакетах.
- 1.6 Установка вручную арматурных сеток и каркасов.
- 1.7 Установка отдельных стержней без вязки узлов.
- 1.8 Электросварка отдельных вертикальных стержней с плоскими сетками при образовании армоблоками пересечений арматуры под углом 90°.
- 1.9 Электросварка стыков арматурных сеток внахлестку с накладками из круглой стали.
- 1.10 Выгрузка инвентаря и приспособлений башенным краном с автомашины.

*2 Опалубочные работы*

- 2.1 Выгрузка из автомашины:
  - инвентаря и приспособлений;
  - щитов опалубки;
  - стоек, элементов креплений;
  - ручную мелких деталей в ящиках.
- 2.2 Устройство опалубки ленточных фундаментов с выверкой правильности установки.
- 2.3 Разборка опалубки со снятием креплений, очистка от наплывов бетона и укладкой щитов в пакеты.
- 2.4 Работа машиниста крана на устройстве и разборке опалубки.
- 2.5 Погрузка щитов опалубки на автомашину краном.
- 2.6 То же мелких деталей, элементов креплений в ящиках вручную.
- 2.7 Погрузка инвентаря и приспособлений на автомашину краном.

*3 Бетонные работы*

- 3.1 Выгрузка инвентаря и приспособлений с автомашины краном.
- 3.2 Укладка бетона в фундаменты.
- 3.3 Подача бетона башенным краном.

- 3.4 Приём бетона из кузова автосамосвала в бункера.
- 3.5 Очистка бункера от налипшего бетона.
- 3.6 Перекидка бетона на расстояние до 2 м.
- 3.7 Погрузка опилок в бадью вручную.
- 3.8 Подача опилок в бадьях.
- 3.9 Поливка поверхности водой.
- 3.10 Посыпка поверхности бетона опилками.
- 3.11 Погрузка инвентаря и приспособлений на автомашину краном.
- 3.12 Работа машиниста при разгрузке бетона.
- 3.13 Установка воронок.
- 3.14 Установка звеньев хоботов.
- 3.15 Снятие воронок.
- 3.16 Снятие звеньев хоботов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **СТБ 1182-99.** Бетоны. Правила подбора состава. – Введ. 2001–25-01. – Минск, 2000. – 9 с.
- 2 **ГОСТ 30459-96.** Добавки для бетонов. Методы определения эффективности. – Введ. 1997-25-02 – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 32 с.
- 3 **СТБ 1112-98.** Добавки для бетонов. Общие технические условия. – Введ. 2000-20.01. – Минск, 2000. – 12 с.
- 4 **Афанасьев, А. А.** Интенсификация работ при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона / А. А. Афанасьев. – М. : Стройиздат, 1990. – 384 с.
- 5 Справочник по бетонным работам: справочник/ И. В. Шихненко, И. А. Власенко, А. В. Бондарчук. – Киев : Будивельник, 1987. – 208 с.
- 6 Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками. – М. : Стройиздат, 1978. – 144 с.
- 7 **Евдокимов, И. В.** Технология монолитного бетона и железобетона : учеб. пособие для строительных вузов / Н. И. Евдокимов, А. Ф. Мацкевич, В. С. Сытник. – М. : Высш. шк., 1980. – 335 с.
- 8 Бетонные и железобетонные работы (Справочник строителя) / под ред. В. Д. Топчия. – М. : Стройиздат, 1987. – 320 с.
- 9 **Сергеева, О. Г.** Производство бетонных работ в зимних условиях. В 3 ч. Ч.1. Метод термоса / О. Г. Сергеева, С. Г. Васильев. – Гомель : БелИИЖТ, 1981. – 34 с.
- 10 **Сергеева, О. Г.** Производство бетонных работ в зимних условиях. В 3 ч. Ч. 2. Электропрогрев бетона / О. Г. Сергеева, С. Г. Васильев. – Гомель : БелИИЖТ, 1985. – 16 с.
- 11 **Сергеева, О. Г.** Производство бетонных работ в зимних условиях. В 3 ч. Ч. 3. Индукционный прогрев. Инфракрасный обогрев / О. Г. Сергеева, С. Г. Васильев. – Гомель : БелИИЖТ, 1989. – 20 с.
- 12 Руководство по термообработке бетона. – М. : Стройиздат, 1974. – 255 с.
- 13 Технология строительного производства в зимних условиях : учеб. пособие для вузов / под ред. В. А. Евдокимова. – М. : Стройиздат, 1984. – 264 с.
- 14 Единые нормы и расценки (ЕНиР). Бетонные и железобетонные работы. Ч. 4. – М. : Стройиздат, 1990. – 24 с.
- 15 Технология и механизация строительного производства. Ч. I, II / под ред. С. С. Атаева. – М. : Высш. шк., 1983. – 312 с.
- 16 Руководство по применению химических добавок в бетон. – М. : Стройиздат, 1989. – 37 с.
- 17 **Кальгин, А. А.** Лабораторный практикум по технологии бетонных и железобетонных изделий / А. А. Кальгин, Ф. Г. Сулейманов. – М. : Высш. шк., 1994. – 112 с.
- 18 Технологические карты на производство монолитных бетонных работ / Всесоюз. науч.-исслед. и проект. ин-т труда в строительстве Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1999. – 28 с.
- 19 Карты трудовых процессов (типовые) на монолитные бетонные работы/ Всесоюз. науч.-исслед. и проектн. ин-т труда в строительстве Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1999. – 32 с.
- 20 **Маринков, К. С.** Основы проектирования производства строительных работ / К. С. Маринков. – М. : Стройиздат, 1980. – 229 с.

21 Руководство по конструкциям опалубок и производству опалубочных работ / ЦНИИОМПТ. – М. : Стройиздат, 1983. – 520 с.

22 Схемы комплексной механизации опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении промышленных зданий из монолитного бетона / ЦНИИОМПТ. – М., 1990. – 124 с.

23 **Соколов, И. Г.** Технология и организация строительного производства / И. Г. Соколов. – М. : Стройиздат, 2002. – 215 с.

24 **Стаценко, А. С.** Технология бетонных работ / А. С. Стаценко. – Минск : Высш. шк., 2006. – 293 с.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Бетон и бетонные смеси.....	4
2 Укладка бетонной смеси.....	7
2.1 Общие положения.....	7
2.2 Подача бетонной смеси кранами и подъёмниками.....	10
2.3 Гравитационная подача бетонной смеси.....	14
2.4 Подача и распределение бетонной смеси ленточными транспортерами (конвейерами), бетоноукладчиками и мототележками.....	17
2.5 Подача и распределение бетонной смеси по трубопроводам.....	19
2.5.1 Общие положения.....	19
2.5.2 Требования к бетонным смесям, предназначенным для транспортирования по трубопроводам.....	22
2.5.3 Расчётный метод ориентировочной оценки удобоукладываемости бетонной смеси.....	23
2.5.4 Укладка бетонной смеси бетононасосными установками.....	27
2.6 Пневмотранспорт бетонной смеси.....	30
2.7 Выбор комплекта машин для транспортирования, подачи и укладки бетонной смеси.....	31
2.8 Определение эксплуатационной среднечасовой производительности бетононасосных установок.....	32
2.9 Расчёт необходимого количества автобетоносмесителей, способных обеспечивать полную загрузку бетононасоса.....	34
3 Бетонирование различных конструкций.....	36
3.1 Бетонирование фундаментов.....	36
3.2 Бетонирование стен (перегородок).....	37
3.3 Бетонирование колонн, ребристых перекрытий, рам.....	40
3.4 Бетонирование подготовок, фундаментных плит.....	43
3.5 Бетонирование перекрытий.....	44
3.6 Специальные методы бетонирования.....	45
4 Уход за бетоном.....	46
5 Особенности бетонирования в зимних условиях.....	48
5. 1 Общие сведения.....	48
5. 2 Особенности укладки бетонной смеси при отрицательной температуре.....	49
5. 3 Применение бетонов с противоморозными добавками.....	50
5.3.1 Проектирование состава бетона с противоморозными добавками...	53
5. 4 Предварительный электропрогрев бетонных смесей.....	54
5. 5 Особенности применения бетононасосов в зимних условиях.....	56
5. 5. 1 Теоретические основы укладки бетонной смеси в зимних условиях.....	56
5.5.2 Расчёт температуры бетонной смеси в трубопроводах.....	61
5.3.3 Примеры расчета.....	63
6 Технология возведения монолитных бетонных конструкций и сооружений.....	64

Приложение А Методика подбора состава бетонной смеси.....	68
Приложение Б Примеры проектирования состава тяжёлого бетона.....	71
Приложение В Проектирование состава бетона с пластифицирующей добавкой (С-3)..	73
Приложение Г Примеры проектирования состава бетона с пластифицирующей добавкой.....	75
Приложение Д Характеристики бадей для подачи бетона.....	78
Приложение Е Характеристики бетононасосов.....	80
Приложение Ж Технические характеристики автобетоносмесителей.....	82
Приложение И Состав комплектов машин и оборудования для работ нулевого цикла и возведения монолитного здания точечного типа высотой до 60 м.....	83
Приложение К Схемы приобъектного бетонирования .....	84
Приложение Л Характеристики противоморозных добавок для бетонов.....	85
Приложение М Расчет опалубки.....	88
Приложение Н Фрагмент калькуляции трудовых затрат и графика производства монолитных бетонных работ.....	92
Приложение П Ориентировочный перечень монолитных бетонных работ.....	93
Список литературы.....	95

Учебное издание

*ПАНТЮХОВ Олег Емельянович*  
*ЯШИНА Татьяна Витальевна*

**Технология монолитного  
и приобъектного бетонирования**

Учебно-методическое пособие  
по курсовому и дипломному проектированию

Редактор Т. М. Р и з е в с к а я  
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а  
Корректор М. П. Д е ж к о

Подписано в печать 23.02.2009 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 5,88. Тираж 150 экз.  
Зак. № 375. Изд. № 4245.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный университет транспорта:  
ЛИ № 02330/0133394 от 19.07.2004 г.  
ЛП № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.  
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

92 83 82 78 26