

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

Батяновский Э.И.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Учебное пособие для студентов специальности

1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

Минск 2018

Рецензенты:

В.М. Пилипенко, директор Государственного предприятия «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», доктор технических наук, профессор

С.Е. Кравченко, заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог» БНТУ, кандидат технических наук, доцент

Батяновский, Э.И.

Б ... Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебное пособие. – Мн.: Высшая школа, 2017. – 305 с.

Изложены основы современных технологий цементных конструкционных бетонов и заводского производства бетонных и железобетонных изделий. Приведены примеры компоновочных решений и технического оснащения технологических линий изготовления бетонных и железобетонных изделий. Рассмотрены особенности технологий стандового, конвейерного, агрегатно-поточного и смешанного способов производства, включая производство преднапряженных изделий (конструкций) и расчет параметров преднапряжения арматуры механическим, электротермическим и термомеханическим способами.

Предназначается в качестве учебного пособия для студентов специальности «Производство строительных изделий и конструкций» и других строительных специальностей вузов. Может быть полезна инженерно-техническим работникам строительной отрасли.

Регистрационный номер БНТУ/СФ70-05.2018

Оглавление

Введение.....	5
1 Общие положения технологии производства железобетонных изделий....	6
1.1 Структура технологического процесса.....	6
1.2 Генплан. Общие компоновочные решения производственных корпусов.....	8
2 Способы организации технологического процесса изготовления изделий, компоновочные решения технологических линий.....	14
2.1 Стендовый способ производства: сущность, область применения, типы технологических линий.....	14
2.2 Конвейерный способ производства.....	29
2.2.1 Общая характеристика способа.....	29
2.2.2 Типы и компоновочные решения конвейерных линий.....	30
2.3 Агрегатно-поточный способ производства.....	40
2.4 Смешанные способы производства.....	54
3 Доставка, хранение и подготовка материалов для бетона.....	59
3.1 Цемент и минеральные добавки.....	59
3.1.1 Дополнительная обработка, принципы выбора (назначения) вяжущего.....	64
3.2 Крупный и мелкий заполнители.....	70
3.2.1 Доставка и разгрузка заполнителей.....	70
3.2.2 Типы складов для хранения заполнителей.....	73
3.3 Минеральные и химические добавки.....	82
3.4 Вода для бетона.....	85
4 Приготовление бетонных смесей и транспортирование к месту формирования.....	89
4.1 Компоновочные решения бетоносмесительных узлов (установок)....	89
4.2 Бетоносмесители, дозирование, приготовление бетонных смесей....	92
4.3 Транспортирование бетонной смеси к формовочным постам.....	99
4.4 Особенности приготовления бетонных смесей с химическими добавками.....	102
4.4.1 Химические добавки в бетон.....	102
4.4.2 Приготовление, контроль качества и введение в бетон растворов добавок.....	113
5 Формы, бортоснастка и подготовка их к формованию изделий.....	117
5.1 Классификационные отличия форм и требования к ним.....	117
5.2 Разновидности форм.....	119
5.3 Подготовка форм к формованию изделий.....	126
5.4 Смазка форм.....	128
6 Арматура и армирование железобетонных изделий.....	132
6.1 Назначение, сортамент и свойства стальной арматуры.....	132
6.2 Характеристики классов и марок стальной арматуры.....	139
6.3 Упрочнение стали.....	144
6.4 Преднапряжение арматуры.....	146

6.5	Неметаллическая арматура, фибробетон.	155
7	Формование бетонных и железобетонных изделий.	158
7.1	Формуемость (удобоукладываемость) бетонной смеси.	158
7.2	Общая характеристика способов формования.	160
7.3	Вибрационный способ формования и уплотнения бетона.	165
7.4	Прессование и вибропрессование.	175
7.5	Безвибрационные способы формования.	189
8	Тепловая интенсификация твердения и структура бетона. Энергосберегающие технологии.	195
8.1	Структура (пористость) цементного камня и бетона.	196
8.2	Основные технологические факторы, влияющие на «плотность- пористость» бетона.	201
8.3	Тепловая обработка и структура цементного камня и бетона.	204
8.3.1	Активность цемента.	204
8.3.2	Влияние режима тепловой обработки на формирование структуры цементного камня и бетона.	205
8.4	Энергосберегающие (беспрогревная и малоэнергоёмкая) технологии. 211	
8.5	Особенности контроля прочности бетона при низкотемпературной тепловой обработке.	216
9	Технология заводской отделки, доводки и контроля качества изделий.	219
9.1	Понятие первичной и вторичной отделки, требования к качеству поверхности.	219
9.2	Отделка «лицом вниз» - основные способы и технология выполнения работ.	221
9.3	Отделка «лицом вверх» - основные способы и технология выполнения работ.	225
9.4	Вторичная отделка поверхности.	226
9.5	Понятие заводской готовности и доводка изделий.	228
9.6	Контроль качества продукции.	231
10	Технология изготовления объемных и объемно-блочных изделий.	235
10.1	Разновидности и изготовление объемных и объемно-блочных изделий.	235
10.2	Особенности технологии изготовления трубчатых изделий кольцевого сечения.	242
11	Технология формования бетонных изделий с немедленной распалубкой. 250	
11.1	Общие положения.	250
11.2	Особенности технологии формования изделий разных видов.	252
11.3	Особенности формования стеновых блоков.	254
	ПРИЛОЖЕНИЕ	256
	Список литературы	304

ВВЕДЕНИЕ

Современные условия деятельности строительной отрасли, включая предприятия, производящие бетоны (растворы), бетонные и железобетонные изделия (конструкции) и ведущие монолитное строительство, характеризуются постоянно возрастающими требованиями к качеству производимой продукции. Задачу обеспечения качества бетона и железобетона, как основных конструкционных строительных материалов современности, должен решать инженер-строитель-технолог. Для этого он обязан владеть соответствующими знаниями и умением применять их на практике с учетом опыта, накопленного предыдущими поколениями ученых-исследователей, инженеров, проектировщиков - разработчиков теоретических основ бетоноведения, теории и практики железобетона, а также инженерно-технического обеспечения, приемов ведения работ и оборудования, применяемого для реализации производственных процессов изготовления изделий и конструкций с применением бетона и железобетона.

Материал настоящего пособия отражает проблематику организации и реализации технологического процесса производства сборного бетона и железобетона в заводских условиях. В нем нашли отражение все основные варианты реализации современных технологий производственного процесса изготовления разнообразных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, включая преднапряженные.

Содержание пособия преемственно по отношению к накопившимся десятилетиями знаниям в области технологии бетона и железобетона и реализованным в виде монографий, учебников и учебных пособий по этому направлению И.Н. Ахвердова, С.Н. Алексеева, О.Я. Берга, Ю.М. Баженова, А.В. Волженского, О.А. Гершберга, Г.И. Горчакова, К.Э. Горяйнова, Ф.М. Иванова, А.Т. Комара, М.Ю. Лещинского, Л.А. Малининой, С.А. Миронова, В.М. Москвина, В.Б. Ратинова, Б.В. Стефанова, В.Н. Сизова, А.Е. Шейкина, С.В. Шестоперова и многих других ученых-исследователей, внесших огромный вклад в становление и развитие технологии бетона и железобетона.

Структурное строение пособия включает ознакомление с общими положениями заводской технологии производства железобетонных изделий, с практикуемыми способами организации технологического процесса и компоновочными решениями используемых при этом технологических линий (комплексов). Последовательно отражены технологические переделы производственного процесса, начиная с поступления на завод материалов для бетона и заканчивая контролем качества продукции перед отпуском ее потребителю. В форме приложения отражены вопросы, связанные с производством преднапряженных изделий, расчетом и реализацией преднапряжения стальной арматуры. Материал пособия конкретен, он отражает реально действующие производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.

1.1 Структура технологического процесса.

Технологический процесс изготовления сборных бетонных и железобетонных изделий представляет собой совокупность отдельных технологических «элементных» процессов, состоящих из отдельных операций, начиная от приема исходных материалов и заканчивая контролем качества, приемкой и отгрузкой готовых изделий потребителю.

Эта общая последовательность выполнения всей совокупности технологических операций практически не зависит от принятого способа (технологии) производства и присуща всем практикуемым способам: стендовому, конвейерному, агрегатно-поточному и смешанным, реализуемым на соответствующих технологических линиях. Конкретика выполнения элементных циклов и составляющих их технологических операций (например, цикла армирования или формования) зависит от принятого способа (технологии) производства. Одни и те же операции (например, напряжение арматуры или укладка и уплотнение бетона) могут выполняться с использованием разного оборудования, способов и приемов реализации, присущих принятой технологии производства и соответствующего оснащения (оборудования) технологических линий.

На рисунке 1 представлена общая принципиальная технологическая схема производственного процесса изготовления сборных железобетонных и бетонных изделий. Указанные элементные циклы выполняются в приведенной последовательности, составляя общий технологический цикл. Некоторые из них (в частности, подготовка форм (бортоснастки), армирование) осуществляются преимущественно предварительно, а в отдельных случаях параллельно с приготовлением бетона и транспортированием его к месту формования изделий. Эти особенности технологического процесса изготовления изделий рассмотрены далее в разделе, относящемся к особенностям разных способов его организации и реализации.

Каждый элементный цикл принципиальной технологической схемы включает подразделы, которые отражают либо основные способы и приемы его осуществления (например, виды транспортных средств при доставке материалов), либо основные вопросы, касающиеся данного элементного цикла и подлежащие подробному рассмотрению и изучению в процессе обучения. Совокупность элементных циклов и относящихся к ним подразделов (вопросов), отраженных в принципиальной технологической схеме, составляют основное содержание настоящего раздела учебного пособия.

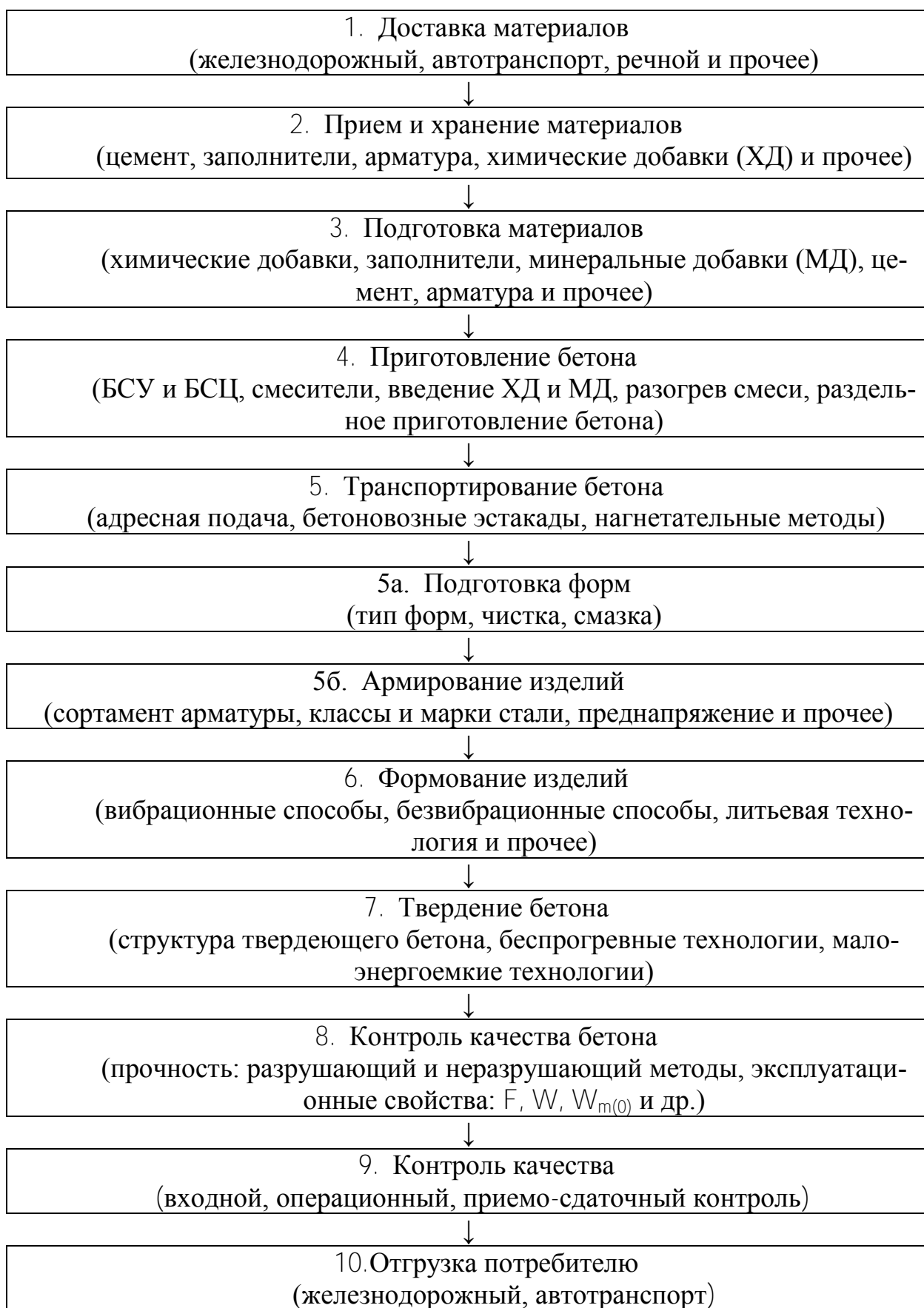


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема производства бетонных и железобетонных изделий.

1.2 Генплан. Общие компоновочные решения производственных корпусов.

Проектирование генплана. Генплан - графическое изображение всех зданий и сооружений завода сборного железобетона, а также складов, инженерно-технических коммуникаций, сети организации обслуживания и охраны предприятия, элементов благоустройства территории (рис. 2-4).

Комплекс работ по проектированию генплана можно разделить на следующие основные этапы: сбор данных по территории участка; учет общих требований, предъявляемых к генплану промышленных предприятий; размещение зданий и сооружений и общая компоновка генплана; технико-экономические показатели генплана.

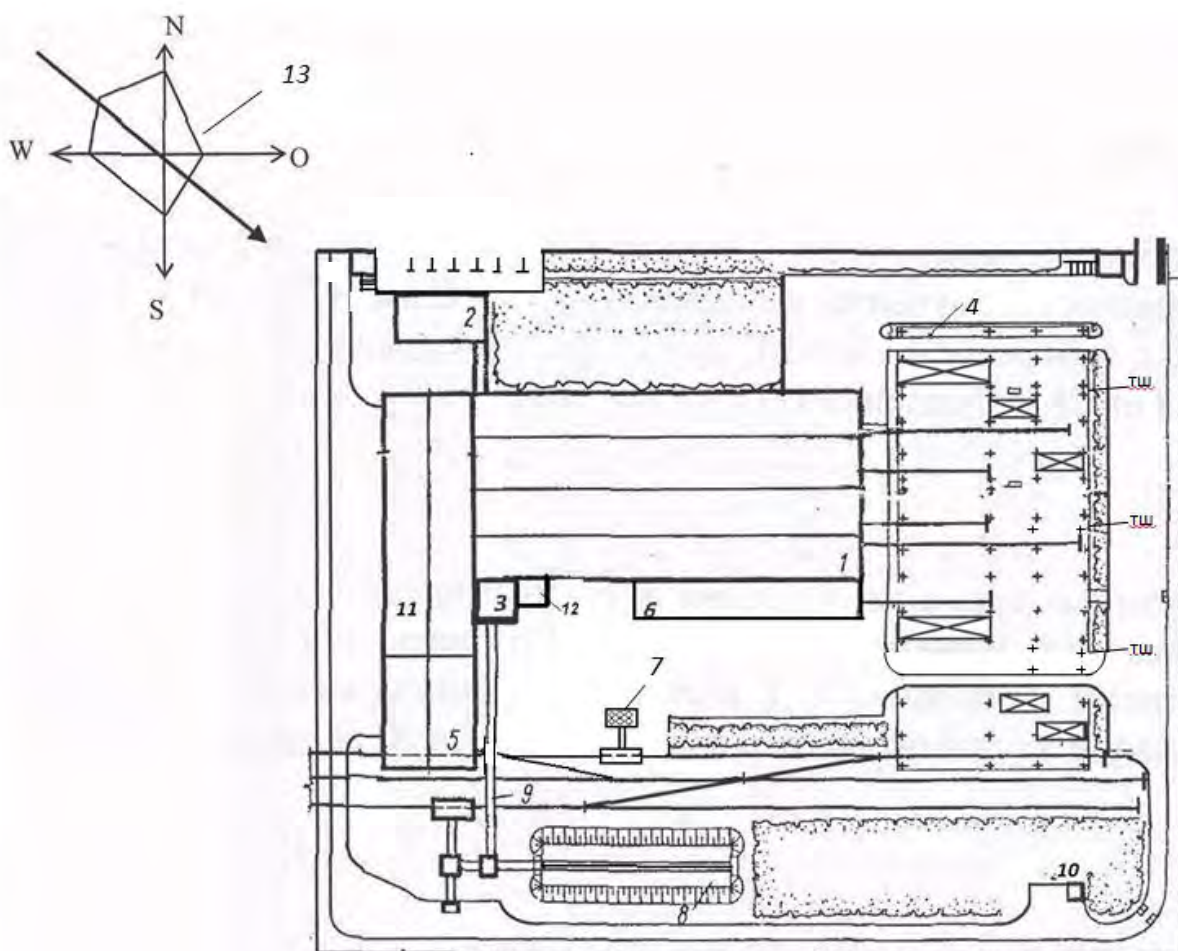


Рис. 2. Принципиальное компоновочное решение генерального плана завода железобетонных изделий общестроительного назначения:

1 - производственный корпус; 2 - административно-бытовой корпус; 3 - бетоносмесительный цех; 4 - склад готовой продукции; 5 - арматурный цех со складом металла; 6 - РМЦ с блоком вспомогательных служб; 7 - склад цемента; 8 - склад заполнителей; 9 - галерея подачи заполнителей; 10 - склад горюче-смазочных материалов; 11 - материально-технический склад и вспомогательные производства; 12 - участок приготовления растворов химических добавок; 13 - роза ветров.

Сбор данных по территории участка для проектирования генплана осуществляют с целью определения пригодности территории для строительства

предприятия сборного железобетона и подготовки материалов по обоснованию выбора площадки строительства. Это производят после технико-экономических изысканий, изучения сырьевой и энергетической баз района, топливных и водных ресурсов, строения грунтов, метеорологических данных и т.д. с учетом схемы районной планировки, составленной на основе перспективных планов развития народного хозяйства.

Учет общих требований, обязательных для проектирования генерального плана, производят в соответствии с действующими строительными нормами. Основным условием производственного процесса является обеспечение точности, исключение встречных технологических потоков. Производят анализ состава зданий и сооружений предприятия для рационального размещения всех производств согласно принятой технологии производства изделий и конструкций. При этом за основу принимают выбранную технологическую схему и соответствующую ей последовательность технологических процессов (от поступления материалов до выпуска продукции), а также ориентировочный состав предприятия: 1) здания цехов основного производства (формовочный, арматурный и бетоносмесительные цеха и другие производства); 2) здания вспомогательных цехов (ремонтно-механический, материальной комплектации и т.д.); 3) энергетическое хозяйство для снабжения паром, электроэнергией, теплотой (ТЭЦ, трансформаторы, котельные); 4) складское хозяйство (сырье, топливо, оборудование и т.д.); 5) объекты административно-хозяйственного и бытового назначения (управление, столовая, проходная, здравпункт); 6) транспортные и инженерно-технические коммуникации (гаражи, дороги, линии газо-, водопровода, электроснабжения и т.д.); 7) элементы благоустройства (озеленение, тротуары, скверы, киоски, павильоны и т.д.)

Расположение зданий должно обеспечивать санитарно-технические и противопожарные требования: 1) здания, где выделяются газ, дым и пыль, располагают к прочим зданиям и населенным пунктам с подветренной стороны (господствующие ветры) либо предусматривают защитные зоны шириной 50 м; 2) здания с шумным производством отделяют защитной зоной от общих и жилых зданий; 3) нельзя возводить на территории предприятия жилые здания и сооружения при расстоянии до открытых складов с пылью не менее 20 м, до административно-конторских зданий - не менее 50 м; 4) пожароопасные сооружения необходимо располагать с подветренной стороны, ко всем зданиям предусматривают удобный подъезд; устраивают пожарные гидранты, минимальные размеры между зданиями устанавливают по пожароопасности и степени огнестойкости зданий, противопожарные разрывы колеблются от 10 до 30 м, а санитарные разрывы между зданиями должны быть не менее наибольшей высоты одного из них; 5) обеспечивают общие архитектурно-строительные требования благоустройства и озеленения территории; увязывают с соседними районами и предприятиями.

Приведенные на рис. 2-4 варианты принципиальных компоновочных решений заводов ЖБИ разного назначения разработаны на основе унифицированных типовых пролетов УТП-1 (УТП-2; рис. 5).

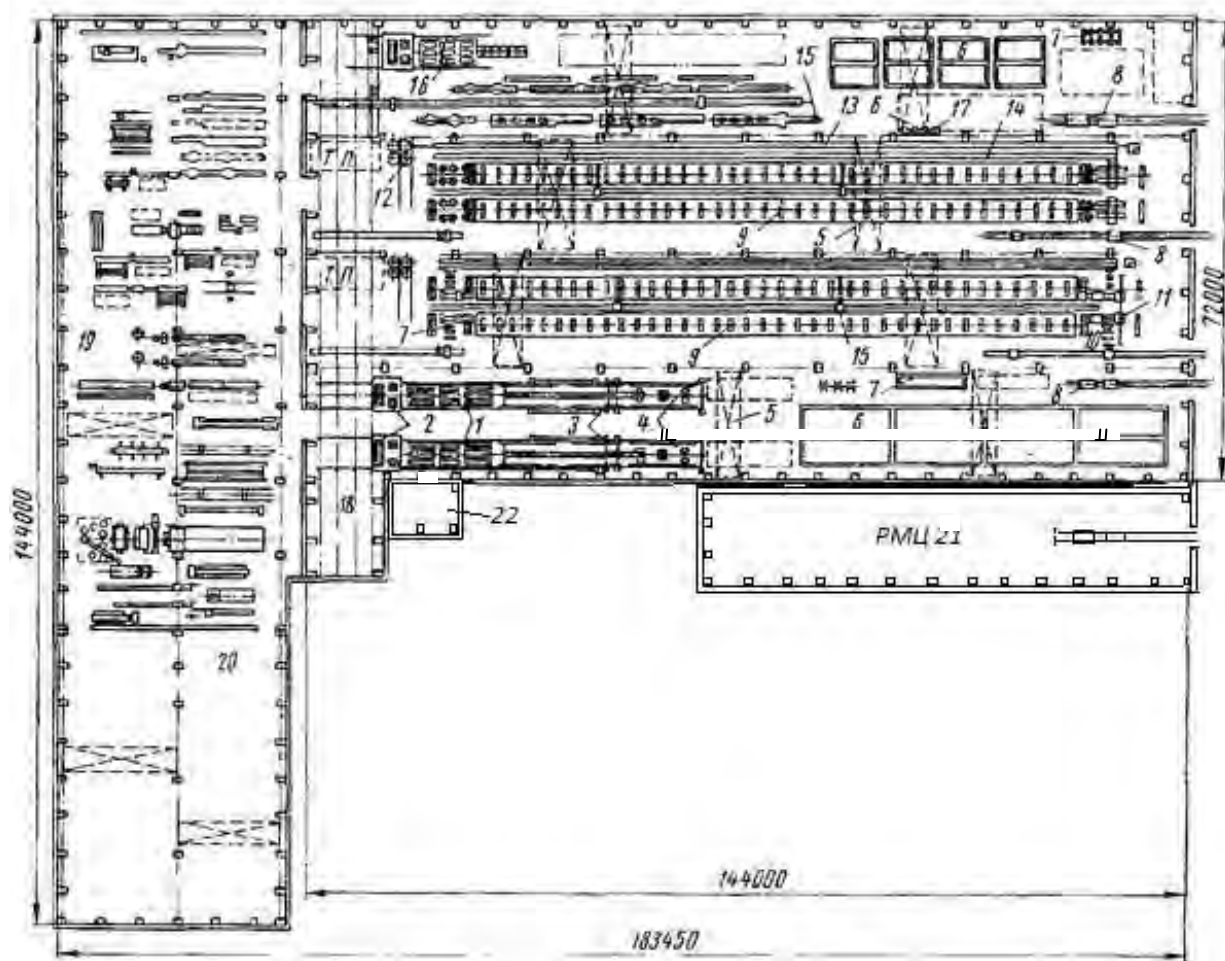


Рис. 3. Схема-вариант компоновки производственного корпуса завода железобетонных изделий для промышленного строительства:

1 — виброплощадки; 2 — бетоноукладчики; 3 — натяжное устройство; 4 — кантователь; 5 — мостовой кран; 6 — камеры тепловой обработки; 7 — стенд контроля и комплектации; 8 — самоходные тележки для вывоза готовой продукции; 9 — стендовая полоса; 10 — упоры; 11 — гидродомкрат; 12 — бухтодержатель; 13 — установка для заготовки пакетов; 14 — стол для сборки пакетов; 15 — посты формования колонн; 16 — виброплощадка для формования плитных изделий длиной 6 м; 17 — установка для электротермического натяжения арматуры; 18 — эстакада подачи бетонной смеси; 19 — арматурный цех; 20 — склад металла; 21 — ремонтно-механический цех; 22 — участок приготовления растворов химических добавок.

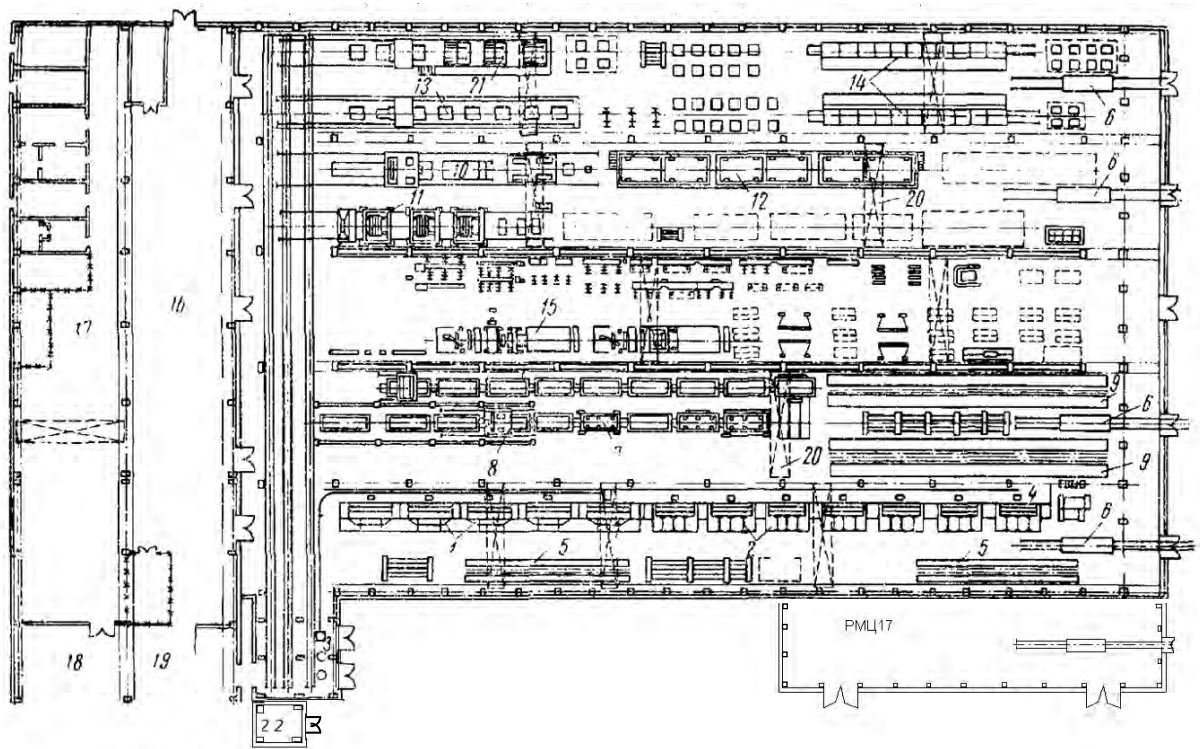


Рис. 4. Схема-вариант компоновки производственного корпуса завода крупнопанельного домостроения:

1 — кассеты для производства панелей перекрытий; 2 — кассеты для производства внутренних стен; 3 — камерный пневматический питатель; 4 — передвижной гаситель; 5 — конвейер отделки панелей перекрытий и внутренних стен; 6 — тележка для вывозки готовой продукции; 7 — конвейерная линия с термоформами по производству панелей наружных стен; 8 — виброформовочный агрегат; 9 — конвейер отделки панелей наружных стен; 10 — агрегатнопоточная линия доборных изделий; 11 — формы для заготовок при монтаже санитарно-технического и электротехнического оборудования; 12 — ямные камеры; 13 — посты формования санитарно-технических кабин; 14 — конвейер отделки санитарно-технических кабин; 15 — арматурный цех; 16 — арматурный цех; 17 — ремонтно-механический цех; 18 — склад металла; 19 — материально-техническое производство и склад; 20 — краны мостовые; 21 — участок изготовления поддонов для санитарно-технических кабин; 22 — участок приготовления растворов химических добавок.

В таблице 1 приведены установленные для генеральных планов завода сборного железобетона усредненные технико-экономические показатели, которые учитываются при разработке генпланов проектируемых предприятий и характеризуют их соответствие устоявшейся практике проектирования.

Как следует из рис. 2-4, производственные корпуса заводов сборного железобетона состоят из расчетного количества типовых унифицированных пролетов «УТП-1» и (или) «УТП-2» (рис. 5), в которых располагается оборудование производственных технологических линий.

Технико-экономические показатели генерального
плана предприятия

№ п/п	Наименование показателей	Рекомендуемые показатели	
		единица измерения	величина
1	Площадь территории	м ²	по факту
2	Площадь застройки	м ²	по факту
3	Коэффициент застройки территории	%	40...55
4	Коэффициент использованной территории	%	70...75
5	Протяженность ж.-д. путей	м/м ²	0,012...0,014
6	Площадь под ж.-д. путями	%	5...6
7	Протяженность автодорог	м/м ²	0,012...0,014
8	Площадь автодорог и площа- док	%	10...14
9	Площадь озеленения	%	≤15
10	Протяженность ограды	м	по факту

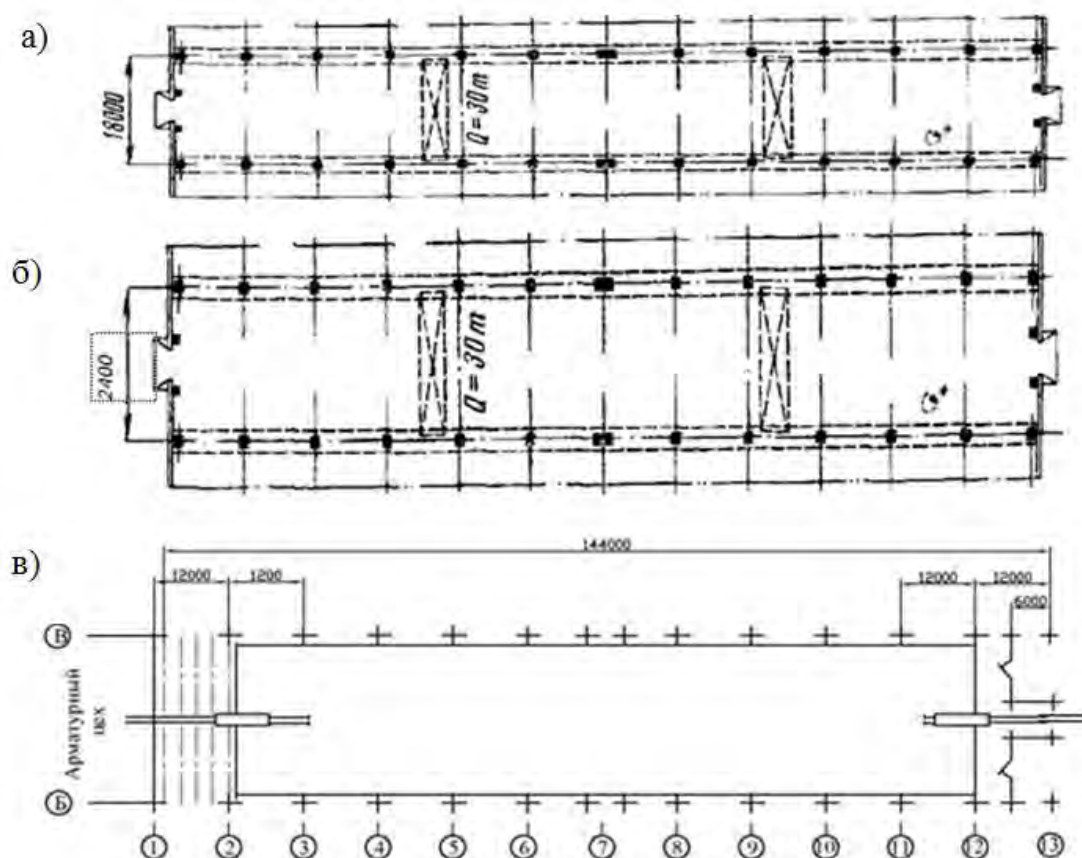


Рис. 5. Унифицированные типовые пролеты 18x144 м (а - УТП-1) и 24x144 м (б - УТП-2):

а — УТП-1; б — УТП-2; в — общая компоновочная схема типового проекта.

На рис. 5 в) показана в общем виде схема рабочей зоны мостовых кранов, обслуживающих пролет и обеспечивающих выполнение подъемно-транспортных операций технологического процесса изготовления изделий, а также иных работ (монтаж-демонтаж оборудования; перемещение форм, изделий и др. грузов). Компонентные решения производственных технологических линий различного назначения (частично представлены на рис. 2-4) подробно рассмотрены в следующих далее разделах.

2 СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ, КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ.

2.1 Стендовый способ производства: сущность, область применения, типы технологических линий.

Сущность и рациональная область применения. Стендовый способ (или - технология) характеризуется тем, что формы (стенды, бортоснастка, поддоны) неподвижны, а при реализации технологического процесса перемещаются исполнители и оборудование. Подготовительные операции (чистка, смазка), армирование (преимущественно с преднапряжением арматуры), формование (подача, укладка и уплотнение бетона), дополнительные операции (например, гидро-, теплоизоляция бетона отформованных изделий и др.) и тепловая обработка осуществляются в стационарном положении на стенде, т.е. без перемещения до момента распалубки изделий.

В этом случае все операции технологического цикла выполняют последовательно, начиная от распалубки изделий и включая тепловую обработку. В результате этот способ характеризуется наибольшей (по сравнению с конвейерным или агрегатно-поточными способами) продолжительностью технологического цикла. Одновременно с этим стендовый способ наименее энерго- и металлоемок при эксплуатации, ниже его ремонтная сложность, начальные затраты на строительство и техническое оснащение технологических линий.

В этой связи наиболее рационально применение стендового способа при изготовлении крупногабаритных, многотоннажных изделий (конструкций) с преднапрягаемой арматурой. В частности, преднапряженных железобетонных ферм, балок, длинномерных ригелей, различных панелей-оболочек, центральноармированных (без поперечного армирования ствола) преднапряженных свай в многоместных стендах-формах и других изделий.

Кроме приведенного, получила развитие стендовая технология изготовления преднапряженных многопустотных плит перекрытий, которые формируют в виде длинномерного цельноизготавливаемого изделия с нарезкой по требуемой длине по окончании твердения (тепловой обработки) бетона. По такому варианту возможно изготовление полнотелых (сплошного сечения) изделий, в частности, внутренних стеновых панелей, перегородок и др.

Вместе с тем в современных условиях эти изделия, а также плиты балконов и лоджий, лестничные марши, плиты парапетов и другие подобные изделия преимущественно изготавливают в многоместных стендах-кассетах при формировании в вертикальном положении.

На специализированных стендовых установках разного типа изготавливают (формируют, проводят полную или частичную (1-ю ступень из 2-х) тепловую обработку) объемные железобетонные изделия: блок-комнаты объемно-блочных зданий, элементы шахт лифтов, санитарно-технические кабины,

крупногабаритные кольца и элементы силосов-хранилищ и другие подобные изделия.

Типы стендов. Различают длинные стенды (в технической литературе в ряде случаев их называют линейными), на которых изготавливают 2 и более изделий по продольной оси и к которым по действующим на территории Беларуси нормативным документам относят стенды длиной более 25 м. А также - короткие стенды, на которых изготавливают до двух изделий по продольной оси, при общей длине стенда до 25 м.

Длинные стендовые технологические линии, которые располагают в типовых унифицированных пролетах (УТП-1 и УТП-2, рис. 5), имеющих длину 144 м, обычно характеризуются длиной до 110 м. Конкретные габариты стенда зависят от типажа изготавливаемых изделий, соответствующего технологического оборудования, особенностей технологии и контроля качества готовой продукции (например, наличия в цеху испытательных стендов), требуемого времени выдержки изделий в цеху после тепловой обработки в зимний период (т.е. площади поста (участка) выдержки) и др. факторов. Наибольшая длина стендов на территории Беларуси составляет 154 м (завод строительных конструкций ОАО «Минскжелезобетон»); из литературы известны примеры функционирования в условиях полигонов на территории США стендов длиной 200 м и более.

Длинные стенды подразделяют на пакетные, протяжные и безопалубочного формования преднапряженных изделий, а также стенды для изготовления изделий с ненапрягаемой арматурой.

Пакетные стенды характеризуются тем, что оснащены специализированными линиями с соответствующим оборудованием, предназначенными для заготовки преднапрягаемой арматуры непосредственно в формовочном цехе. Например, пакетов (пучков) или прядей из проволоки; арматурных элементов из стержневой арматуры, заготавливаемых в «плеть» мерной длины; арматурных элементов из канатов и т.п.

Эти линии располагаются параллельно продольной оси стенда (см. рис. 6) и подготовленные на них арматурные элементы перемещают в процессе армирования (специальными устройствами или с помощью кранов) в рабочую зону (формы или формообразующие элементы) стендов, в конструктив упоров стенда.

Протяжные стенды характеризуются тем, что напрягаемая арматура заводится в формы стенда и на его упоры с одного торца технологической линии и протягиваются (с помощью самоходных устройств, лебедок, режее - кранов) по всей длине стендовой линии и фиксируется на упорах противоположной стороны для последующего напряжения.

В этом случае используется «гибкий» сортамент напрягаемой арматуры на основе проволоки. Преимущественно это индивидуальные арматурные элементы из проволоки и канатов; в отдельных случаях - из прядей.

На практике реализуются в основном два варианта: арматура сматывается с зафиксированных в торце стенда бухтодержателей или концы арматурных элементов фиксируются в зажимах упоров и арматура сматывается с бухтодержателей, размещенных на самоходной установке - тележке.

Известен вариант, при котором проволочная и канатная арматура может раскладываться и напрягаться с помощью полиспастов. В этом случае арматурный элемент сматывается с бухты (при необходимости «сращивается» (соединяется) для обеспечения необходимой длины) через неподвижный полиспасть-упор с помощью подвижного полиспаста. Последний перемещается вдоль стенда либо специальной тележкой, либо удерживается на весу перемещающимся краном и протягивается тяговой лебедкой. Полиспастная система позволяет напрягать арматуру групповым (по количеству арматурных элементов) захватом. Несмотря на очевидную сложность данного приема и несколько повышенный расход арматуры (за счет запасовки в полиспадах) есть и существенное достоинство - равномерность усилия натяжения в напрягаемых групповым захватом арматурных элементах и отсутствие необходимости выверки их длин, что снижает трудоемкость и затраты времени при армировании напрягаемой арматурой.

Стенды безопалубочного формования классификационно относятся к группе длинных протяжных стендов. Их особенностью является отсутствие стационарных форм, образующих конфигурацию изделий. Требуемые размеры сечения (ширину и высоту) изделию придает формирующая пара: стационарный неподвижный стенд-поддон и подвижный формирующий агрегат, перемещающийся вдоль поддона. Необходимая длина изделия обеспечивается разрезкой отформованного «пласта» после твердения бетона (достижения прочности, достаточной для передачи усилия преднапряжения арматуры на бетон и съема изделий).

Для ускорения твердения бетона на стендах такого типа используют односторонний подвод тепла: снизу, через нагреваемый металл поддона. Варианты подвода тепла включают «змеевиковую» разводку по трубам подогретого масла, воды, водяного пара, либо электрические греющие провода, кабели, ТЭНы. Поверхность отформованного бетона на период тепловой обработки укрывают паро-, теплоизолирующим покрывалом, которое разматывают и сматывают с помощью соответствующего специализированного устройства.

Формование (укладку и уплотнение) бетона осуществляют с помощью специализированных формирующих агрегатов, с использованием вибрационного и ударно-вибрационного, а также экструзионного способов уплотнения.

Формующие агрегаты с вибрационным уплотнением бетона характеризуются либо однослойной его укладкой по габаритам сечения «пласта» и, соответственно, наличием одного бункера для бетонной смеси (например, формующие агрегаты фирмы «ТЭНСИЛАНД», ОАО «Полоцкжелезобетон»), либо последовательной укладкой в три слоя и оснащением тремя бункерами (фирма «МАКСРОТ», ОАО «Минскжелезобетон»).

Наибольшее распространение в Беларуси получили формующие агрегаты фирмы «ВЕЙЛЕР» оснащенные двумя бункерами для бетонной смеси при 2-х слойной укладке бетона с совмещенным ударно-вибрационным способом уплотнения (завод эффективных промышленных конструкций (г. Минск) и другие).

Формующие агрегаты-экструдеры (на предприятиях Беларуси на данный момент времени использование не зафиксировано) реализуют однослойный вариант укладки бетона по сечению формуемого «пласта» с уплотнением за счет прессующего динамического воздействия нагнетающих шнеков. Дополнительное вибрационное воздействие на бетон на входе в формообразующий участок агрегата и высокочастотное вибровоздействие на шнеки (вibrаторы - в полости их приводных валов) осуществляются с целью кратковременной «пластификации» смеси и повышения качества формования.

Длинные стенды для изготовления изделий с ненапрягаемой арматурой характеризуются наличием (кроме общего металлического стенда-поддона с подогревом по аналогии с ранее изложенным) съемной бортоснастки, которая фиксируется на поддоне магнитами, встроенными к конструкции бортов. Конфигурация бортов, их расположение на поддоне подбирается в соответствии с назначенным к изготовлению изделием (или - изделиями) и образует с поддоном соответствующую форму-матрицу. После формования, твердения и распалубки данного изделия (или изделий) набор съемных бортов и их конфигурация на поддоне может (при необходимости) изменяться для изготовления иных видов (типоразмеров) изделий.

Примеры компоновки стендовых линий.

Вариант компоновки длинного *пакетного стенда*, с заготовкой в пакеты преднапрягаемой арматуры параллельно продольной оси стенда, представлен на рисунке 6.

Варианты компоновки длинных *протяжных стендов* с заготовкой преднапрягаемой арматуры протяжкой с торца вдоль стенда с бухтодержателями представлены на рис. 7 и 8.

Вариант длинного протяжного *стенда безопалубочного формования* преднапряженных изделий (плит) с греющим поддоном представлен на рис. 8.

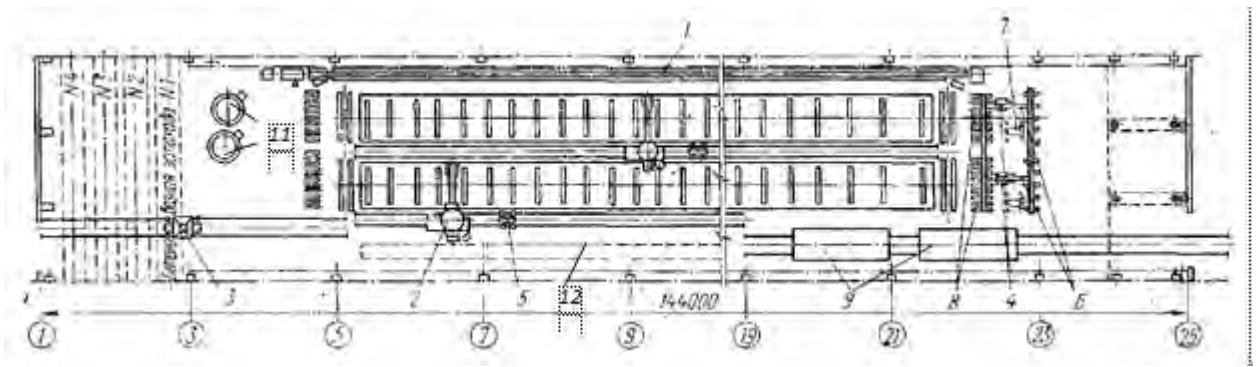


Рис. 6. Схема длинного (пакетного) станда

1 - линия заготовки пакетов напрягаемой арматуры; 2 - бетонораздатчик; 3 - бадья самоходная; 4 - гидродомкрат; 5 - тележка питания виброинструмента; 6 - передние упоры; 7 - насосная станция; 8 - задние упоры; 9 - самоходная тележка с прицепом для вывоза готовой продукции; 10 - бухтодержатели; 11 - пост хранения запаса арматуры; 12 - посты (участок) выдержки, ремонта (доводки), контроля изделий.

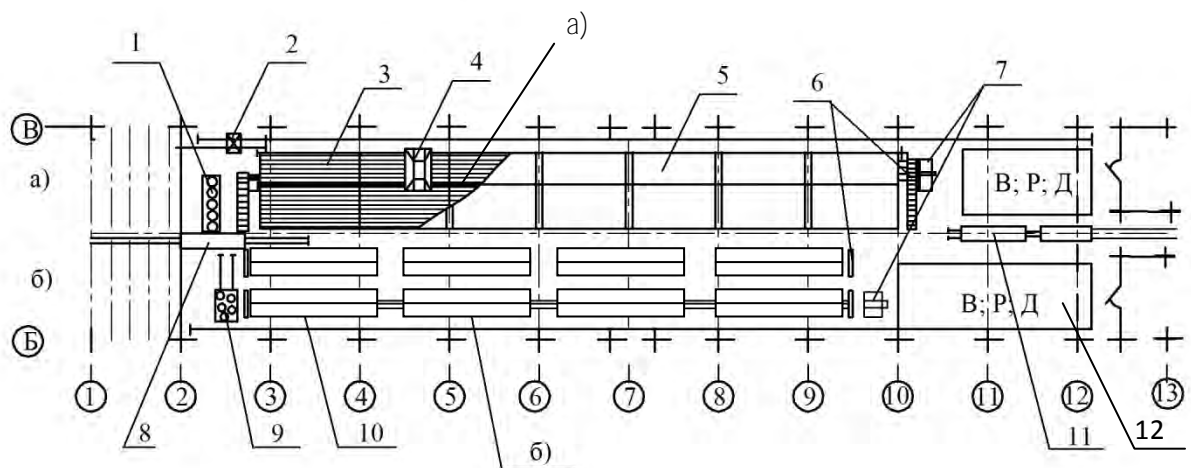


Рис. 7. Принципиальная схема длинного протяжного станда:

а) изготовление преднапряженных центральноармированных свай (без поперечного армирования ствола); б) двускатных ж/б преднапряженных балок (и т.п.)

1 – бухтодержатели (неподвижные); 2 – бадья самоходная; 3 – станд свай; 4 – бетоноукладчик (раздатчик); 5 – крышка(и) камеры; 6 – упоры; 7 - станции и гидродомкраты для натяжения арматуры; 8 – телега завоза бухт арматуры; 9 – бухтодержатель (перемещаемый); 10 – станд-форма (2 балки); 11 – телега вывоза продукции; 12 – пост (участок) выдержки, ремонта (доводки), контроля изделий.

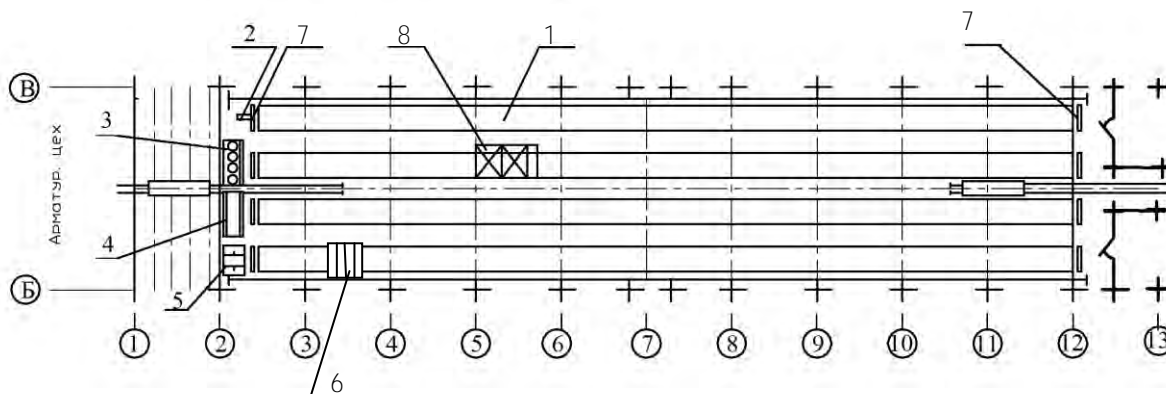


Рис. 8. Принципиальная схема длинного протяжного стенда с греющими поддонами.

1 – греющий поддон – стенд; 2 – установка для натяжения арматуры; 3 – машина для раскладки арматуры; 4 – машина для раскатки- сборки гидро-, теплоизолирующего покрытия; 5 – машина для разрезки массива; 6 – машина для чистки-смазки поддона; 7 – упоры стенда; 8 – формирующий агрегат.

Технология работ. Технологическая последовательность выполнения операций на длинных стендах в общем случае включает:

- подготовку стенда (чистка, смазка, включая формообразующие элементы), сборка форм (частичная или полная));
- заготовку напрягаемой и ненапрягаемой арматуры;
- раскладку преднапрягаемой арматуры и выравнивание (при групповых захватах), фиксацию в захватах (зажимах);
- первую ступень (до 40%...50% от расчетного) натяжения;
- установку фиксаторов защитных слоев ненапрягаемой арматуры и выполнение других сопутствующих работ;
- натяжение арматуры до (105...110) %, выдержку и фиксацию в зажимах упоров при 100 % расчетного натяжения;
- бетонирование, укрытие (покрывала, крышки и др.), твердение бетона до $f_{cm} \geq 70\%$ от уровня прочности проектного (28 сут.) возраста (но не менее 14 МПа);
- частичную распалубку: открытие бортов, извлечение всех (внутренних и внешних) формообразующих элементов, которые могут препятствовать свободным деформациям изделия(ий) при передаче усилия преднапряжения на бетон;
- передачу напряжения на бетон;
- обрезку концов арматуры;

- распалубку, съем изделий, доводку (включая антикоррозионную защиту торцов арматуры), ремонт (при необходимости), контроль качества, вывоз на склад готовой продукции.

При бетонировании в процессе изготовления изделий (конструкций) используют:

- бетонораздатчики консольного типа;
- бетонораздатчики с неподвижным и подвижным бункерами;
- бетоноукладчики с разравнивающими, уплотняющими и заглаживающими устройствами;
- бадьи самоходные съемные (как для загрузки бетона в бетонораздатчики (укладчики), так и для бетонирования);
- вибраторы: навесные (изготовление балок, объемных изделий и т.п.); глубинные (фермы, сваи и т.п.); виброрейки и вибронасадки (плитные изделия, сваи в многорядных стенд-формах и т.п.);
- бетонизирующие агрегаты (комбайны; формующие устройства) для загрузки, укладки, уплотнения и калибровки поперечных размеров изделий, с одновременной отделкой (заглаживанием) боковых и верхней сторон (поверхностей); эти устройства, в сочетании с металлическими поддонами, образуют формующую "пару" и обеспечивают вариант безопалубочного формования изделий "на поддон".

Короткие стенды для изготовления длинномерных (большепролетных) преднапряженных изделий (ферм, балок и т.п.) могут быть одинарными и сдвоенными (на 2 изделия по длине и ширине). Для изготовления изделий с ненапрягаемой арматурой преимущественно используют стенды многоотсечные (кассеты), а также в варианте стенд-поддонов со съемной бортоснасткой.

В производственной практике применяются следующие разновидности коротких стендов:

- *стенд-формы силовые* для изготовления балок, ферм и других изделий; их конструкция обеспечивает восприятие усилий от напрягаемой арматуры, которая натягивается с фиксацией на упоры формы. В зависимости от типажа изготавливаемых изделий силовые стенд-формы могут оснащаться паровыми рубашками для осуществления тепловой обработки бетона (изготовление балок и т.п.), либо осуществлять функцию формообразующих элементов (например, при изготовлении ферм и других изделий, изготавливаемых плашмя) и располагаться в пропарочных устройствах (в ямных камерах или под съемными (откидывающимися) колпаками);
- *стенд-формы с выносными упорами* (рис. 9), конструкция которых менее металлоемка, в сравнении с силовыми формами, т.к. усилие натяжения арматуры воспринимают независимые от нее упоры, а элементы формы являются формообразующей оснасткой; но в этом случае увеличивается расход

напрягаемой арматуры, за счет удлинения арматурных элементов, фиксируемых на выносных упорах;

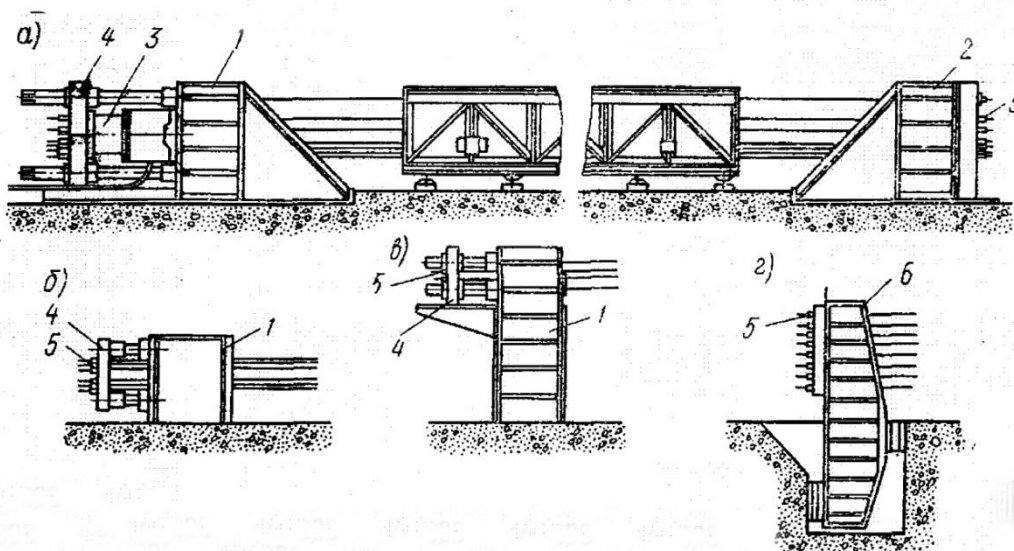


Рис. 9. Схемы упоров стенов для усилий до 3000 кН:

а – схема стенда с упорами из двух стоек для группового натяжения арматуры, расположенной на высоте не более 800 мм; б – упор стенда для натяжения арматуры нижней зоны изделия; в – упор стенда для натяжения верхней зоны изделия; г – переставляемый упор, используемый как промежуточный или вместо торцевого; 1 – головной упор; 2 – хвостовой упор; 3 – гидродомкрат; 4 – анкерная плита с винтовым устройством для отпуска натяжения; 5 – зажим; 6 – переставляемый упор.

- *стенд-камеры*, конструкция которых предусматривает расположение формы (например, для изготовления ферм) в напольной ямной камере, а упорами служат стенки камеры; по сути это своеобразная разновидность предыдущего варианта стенд-форм с тем же недостатком - увеличенным расходом напрягаемой арматуры;

- *стенд-колпаки* – напольная или приподнятая для удобства работ стендовая площадка-форма, которая закрывается-открывается откидывающимися колпаками – крышками, предназначенными для осуществления тепловой обработки (пропаривания) изделия(ий); для герметизации объема под колпаком по контуру площадки стенда предусматривается гидравлический затвор, в который опускается нижняя часть конструктива колпака; данный тип стенда в основном используется для изготовления изделий с ненапрягаемой арматурой высокой трудоемкости, разноплановой конструктивно и при относительно небольшой потребности в ней, в частности, многослойных наружных стеновых панелей сельскохозяйственных зданий, других изделий, изготавливаемых относительно малыми сериями;

- *многоотсечные стенд-формы – кассеты*, конструктивное решение которых предполагает одновременное изготовление от 2-х (комплексные лестничные марши) до 12...14 изделий (внутренние стеновые панели и перегородки; реже – плиты перекрытий сплошного сечения); кассеты включают

формовочные отсеки и паровые (при одно-, либо двухстороннем подводе тепла), оснащаются системой навесных вибраторов, конденсатоотвода и пр.; характерной особенностью кассет является возможность разнонаправленного перемещения (с помощью гидро-, механического привода) в горизонтальном направлении каждого, из составляющих ее вертикально расположенных отсеков; таким образом обеспечивается доступ в отсек для выполнения распалубочных, подготовительных работ и армирования кассеты; формование изделий и их тепловая обработка осуществляется на собранной кассете;

- *объемные стенд-формы* предназначены для изготовления блок-комнат зданий объемно-блочного строительства, санитарно-технических кабин, элементов шахт лифтов, силосов, коллекторов, разнообразных хранилищ и т.п.; характеризуются наличием стационарного (в ряде случаев смещаемого по вертикальной или горизонтальной оси) сердечника, конфигурация и размеры которого соответствуют внутренней части (полости) изготавливаемого изделия; а также наличием разборной внешней бортоснастки – бортов: откидных (съёмных) для изделий прямоугольного сечения в плане, или разъемных форм (преимущественно - полуформ с шарниром и стыком-разъемом) для изделий кольцевого сечения; для облегчения распалубки изделий конструкция сердечника имеет технологический уклон с сужением в верхней части, кроме этого в большинстве установок предусмотрены устройства «подрыва» изделий (первоначального смещения по вертикальной оси в сторону сужения сердечника) путем либо подъема опорной рамы с изделием (при открытых бортах или вместе с внешней частью формы), либо (в отдельных случаях) опусканием сердечника; далее изделия снимают и транспортируют краном с помощью специальных траверс, конфигурация (и размеры) которых обеспечивают вертикальную передачу усилия от массы изделия на его монтажные петли; в конструкциях объемных стенд-форм предусмотрен либо односторонний (преимущественно) подвод тепла (чаще - паровые рубашки и подвод по трубопроводам горячего масла, пара, воды, реже - электронагреватели в виде греющих проводов, кабелей, ТЭНов) со стороны сердечника, либо 2-х сторонний - и со стороны внешней формы; в частности, для тепловой обработки наружной стены объемной блок-комнаты, изготавливаемой со слоем утеплителя по варианту «колпака» (при отдельном изготовлении плиты пола);

- *стенд-поддоны* с набором бортов на магнитах позволяют «составлять» определенные сочетания (для изготовления) однотипных или отличающихся изделий; подача бетона и формование изделий осуществляется с помощью бетонораздатчиков, бетоноукладчиков и переносных бункеров (бадей), глубинных вибраторов, виброреек (вибронасадок); тепловая обработка изделий осуществляется преимущественно с односторонним подводом тепла от гре-

ющего поддона; при изготовлении трехслойных изделий с утеплителем для прогрева верхнего слоя бетона целесообразно дополнительно использовать термоактивные греющие покрывала (ТАГП), выполненные с использованием греющих проводов или на токопроводящих лентах из графитосодержащих тканей.

Варианты компоновочных решений технологических линий с короткими стендами представлены на рис. 10...13.

Для обоих приведенных на рисунке 10 вариантов изготовления безраскосных ферм заготовка напрягаемой и ненапрягаемой арматуры осуществляется в арматурном цеху, и затем доставляется в формовочный цех телегой самоходной (13).

По варианту а) напряжение арматуры осуществляют на упоры-стенки пропарочной камеры, по варианту б) на конструкцию силовой формы. В результате в первом случае форма менее металлоемка, т.к. служит в качестве формообразующей бортоснастки, но увеличивается расход напрягаемой арматуры за счет увеличения длины напрягаемых арматурных элементов. При проектировании новых и реконструкции действующих подобных производств следует учитывать эти особенности с позиции как первоначальных затрат, так и с учетом затрат эксплуатационных, в частности, на арматурную сталь, используемую для преднапряжения изделий.

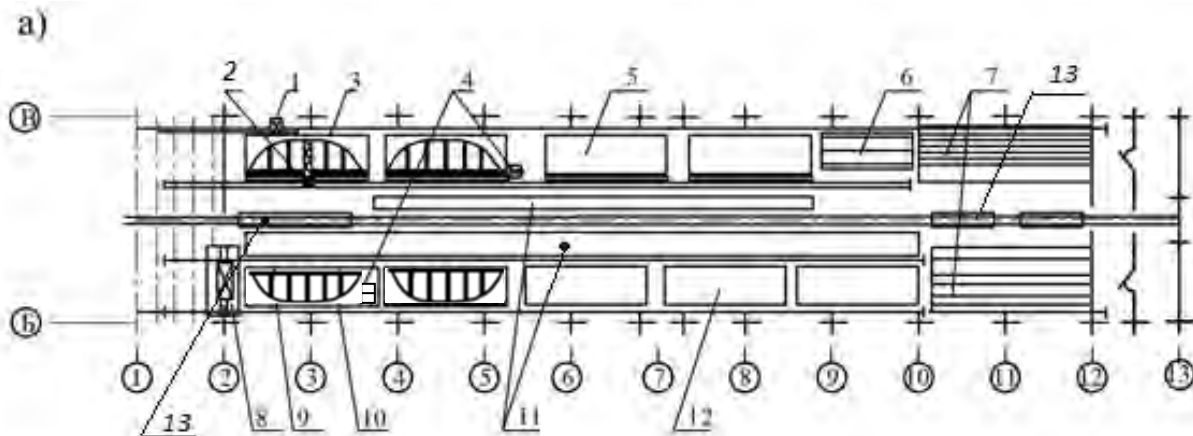


Рис. 10. Принципиальные компоновочные решения линий с короткими стендами:

- а) для изготовления ферм в стенд-камерах;
- б) в силовых формах под составными крышками-колпаками.

1 – бадья самоходная (съемная) для подачи бетонной смеси; 2 – бетонораздатчик консольный; 3 – стенд-камера; 4 – станции и гидродомкраты для натяжения арматуры; 5 – крышка(и) камеры; 6 – пост ремонта-доводки изделий; 7 – пост выдержки; 8 – бетонораздатчик с подвижным бункером; 9 – силовая форма; 10 – стенд с гидрозатвором (по контуру); 11 – места складирования арматуры и др.; 12 – сборная крышка-колпак (теплоизолированный); 13 – телеги самоходные (для доставки арматуры и вывоза готовой продукции).

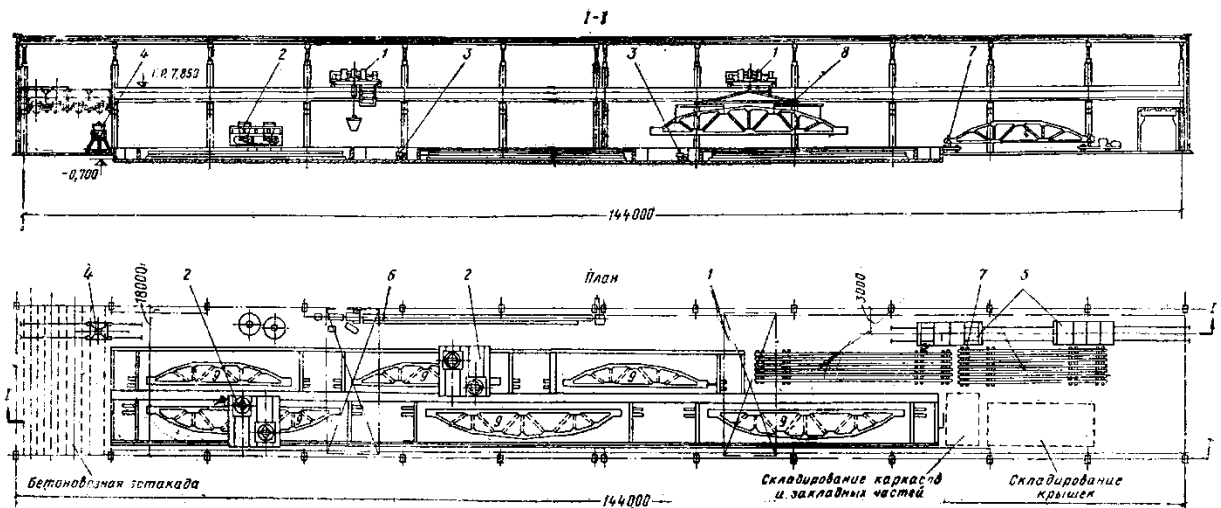


Рис. 11. Вариант линии коротких пакетных стенов со стенд-камерами для изготовления раскосных ферм пролетом 18 и 24м (продольный разрез и план):

1 - мостовой кран; 2 - бетоноукладчик; 3 - гидродомкрат; 4 - бадья для подачи бетонной смеси; 5 - тележка с прицепом для вывоза готовой продукции; 6 - установка для заготовки напряженной арматуры; 7 - кассеты для складирования ферм; 8 - траверса; 9 - формы

На рис. 11 приведен вариант компоновочного решения стеновой технологической линии со стенд-камерами для изготовления раскосных ферм пролетами 18 и 24м. В этом случае заготовка преднапрягаемой арматуры в виде пакетов (возможно - арматурных элементов в виде пучков, прядей из проволоки или индивидуальные элементы из канатов) осуществляется в формовочном цеху. Ненапрягаемая арматура (каркасы, сетки, закладные детали и пр.) в данном варианте компоновки технологической линии завозятся из арматурного цеха электрокарами (отсутствует телега доставки арматуры).

На рисунках 12 и 13 приведены соответственно: вариант компоновки стеновой технологической линии, оснащенной кассетами для изготовления внутренних стеновых и перегородочных панелей (реже – плит перекрытий) сплошного сечения для зданий крупнопанельного (и иного) строительства, и схема устройства кассетной формовочной установки.

Учитывая, что в кассетах вертикально формируют изделия, высота которых может достигать 3-х м и даже более, их располагают с заглублением относительно уровня пола производственного помещения (цеха).

Как уже отмечалось, в кассете одновременно изготавливают до 12...14-ти изделий. Обычно формовочные отсеки каждой кассеты (или нескольких) оборудуются под выпуск изделий необходимых типоразмеров, конфигурации, особенностей (например, того или иного варианта устройства скрытой электропроводки, ее «выходов» на поверхность стены (потолка) и пр.).

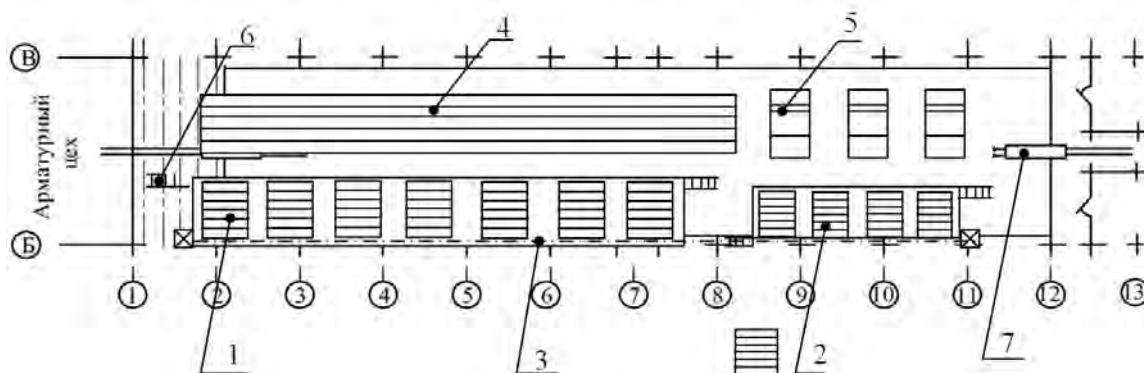


Рис. 12. Вариант компоновки линии кассетного производства изделий:

1 – Кассетные установки основного производства; 2 – кассетные установки для изготовления элементов добора (лестничные марши, плиты и экраны лоджий (балконов), плиты парапета и др.); 3 – линия подачи бетонной смеси; 4 – конвейерные линии доводки, ремонта, выдержки изделий; 5 – посты доводки, ремонта, выдержки изделий; 6 и 7 – телеги завоза арматуры и вывоза готовой продукции.

В этой связи для каждой кассеты в арматурном цехе изготавливают и собирают «индивидуальный» набор арматурных каркасов для каждого из отсеков (формуемых изделий). Этот набор комплектуют, доставляют к кассете (перед каждой из них предусмотрено место вертикального расположения арматурных элементов данного набора) и располагают у нее в порядке, чтобы арматурный каркас последнего отсека был первым, а первого отсека – последним в этом наборе. Связано это с тем, что при выполнении операций армирования кассеты вначале устанавливают арматуру, элементы скрытой электропроводки (при необходимости) и пр., относящиеся к последнему формовочному отсеку, фиксируют его в собранном виде, а затем последовательно армируют и фиксируют остальные отсеки, заканчивая армирование и сборку кассеты работой с ее первым отсеком.

На рис. 13 схематично представлено устройство кассетной установки. Она включает силовой пространственный каркас (названный на схеме распалубочной машиной), который выполняет несущую функцию, обеспечивая жесткость конструкции кассеты. На нем расположены перемещаемые стенки (отсеки) кассеты, силовой привод ее «сборки-разборки», элементы разводки пара, слива конденсата, навесные вибраторы и др. элементы оснащения кассеты.

При распалубке кассеты по окончании тепловой обработки работы начинают с первого отсека (отодвигая его после расфиксации замковых устройств подвижной передней стенки, при зафиксированных остальных отсеках), завершая последним.

Чистка отсеков осуществляется по ходу распалубки кассеты; смазка - отдельно по отсекам или очищенной кассеты в целом.

Армирование и сборку осуществляют поотсечно, начиная с последнего и заканчивая первым отсеком.

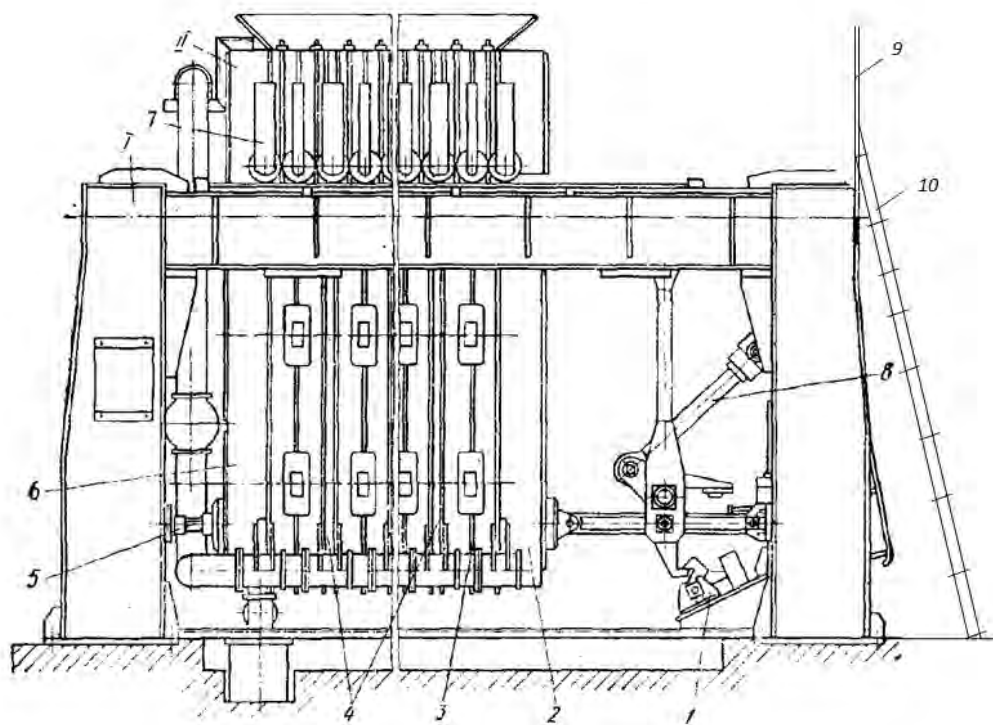


Рис. 13. Схема кассетной формовочной установки

1 - распалубочная машина, II - кассета; 1 - фиксатор, 2, 3, 4, 6 — стенки отсека кассеты, 5 - регулировочный винт, 7 - роlikоопора, 8 - гидроцилиндр с системой рычагов для «сборки-разборки» кассеты, 9 - ограждение, 10 - арматурные элементы.

Формование кассеты должно осуществляться с послойной укладкой по высоте и уплотнении бетона при равномерном распределении бетонной смеси в плане конструкции, в соответствии с требованиями технологического регламента на изготовление изделий.

Распалубленные изделия из кассет подают краном на линии доводки (отделки). Они могут быть в варианте конвейерных (подвесных либо рольганговых (опорных), либо стационарными постами на одно изделие, как это показано на рис. 11. Выполняемые на линиях (постах) операции доводки в основном включают шпатлевание отделываемых поверхностей изделий (придание им надлежащего качества), обработку элементов скрытой электропроводки, очистку закладных деталей и др. Одновременно эти линии (посты) обеспечивают необходимое время выдерживания (остывания) изделий в зимний период работ, т.е. выполняют функции постов выдержки. А кроме этого (по завершении доводки - отделки), здесь может осуществляться операционный контроль качества и приемка изделий отделом технического контроля.

Сравнительная характеристика длинных и коротких стендов. Продолжительность технологического цикла ($T_{ц}$, час) изготовления одинаковых из-

делий на линиях длинных стандов существенно (в 1,5...2 раза и более) превышает время цикла (или - оборота) коротких стандов.

Связано это в первую очередь с тем, что технологические операции преимущественно выполняются последовательно от момента окончания тепловой обработки и начала распалубки изделий из всех форм длинного станда, до начала очередной тепловой обработки, которую осуществляют одновременно для всех станд-форм (изделий).

При этом наибольшей трудоемкостью и продолжительностью характеризуются операции армирования предварительно напряженной арматурой, включающие раскладку арматурных элементов, их фиксацию в зажимах, упорах, фиксацию их расположения в соответствии с проектным положением, толщин защитных слоев, выравнивание при групповом натяжении, натяжение (1-ой и 2 ступени) и другие сопутствующие операции.

Для сокращения времени технологического цикла длинных стандов по мере возможности стремятся использовать прием параллельного выполнения ряда операций. В частности, при чистке-смазке станд-форм, армировании ненапрягаемой арматурой, при бетонировании, отделке поверхности изделий и др. операциях.

Вместе с тем по данному показателю (Тц, час) длинные станды уступают коротким.

Переналаживаемость, т.е. возможность переоснащения технологической линии для организации выпуска продукции изменяющейся номенклатуры (разных типоразмеров, схем армирования, конструктивных особенностей, а зачастую – иного вида). Это понятие иногда называют «гибкость» технологии, т.е. ее приспособленность к изготовлению изделий широкой номенклатуры по мере необходимости.

В большей степени к изменениям номенклатуры подходят технологические линии коротких стандов. Особенно, если выпуск изделий осуществляется малыми партиями. На линиях коротких стандов принципиально возможен вариант постоянного изготовления разнотипных изделий. В частности, именно для такого варианта производства приспособлены линии станд-поддонов, оснащаемые (укомплектованные) соответствующими наборами съемной бортооснастки с магнитами для фиксации на поддонах.

Расход напрягаемой арматуры при изготовлении изделий одного типа существенно меньше при их производстве на длинных стандах, как и удельные затраты времени на операции, связанные с процессом предварительного напряжения арматуры. В этом случае напряжение осуществляется на всю длину станда, включающего ряд форм. При этом в компоновочных решениях длинных стандов стремятся уменьшить расстояние между формами, что позволяет уменьшить длину арматурных элементов и снижать расход преднапрягаемой арматуры (высокопрочной проволоки, прядей и пучков на ее

основе, канатов, стержневой арматуры), стоимость которой весьма высока и существенно влияет на себестоимость продукции.

Особенности компоновки технологических линий длинных и коротких стендов для изготовления длинномерных преднапряженных железобетонных изделий (ферм, балок и др. пролетом более 12м) характеризуются тем, что за счет уменьшенного расстояния между формами длинные стенды позволяют располагать большее количество стено-форм на одной технологической линии. В частности, линии длинных стендов (см. рис. 2), для изготовления 18-м ферм, размещенные в типовом (144 м) пролете «УТП-1», комплектуются 5-ю стено-формами, в то время как линии коротких стендов – 4-мя. Менее металлоемки и сами формы, т.к. выполняют функцию формообразующей бортоснастки, а натяжение арматуры осуществляется на упоры стенда.

Рациональная область применения технологических линий длинных или коротких стендов при проектировании новых или реконструкции действующих производств на основании изложенного может быть определена следующим образом.

Длинные стенды рациональны при изготовлении однотипных изделий большими сериями постоянной (редко изменяемой) номенклатуры, включая возможное изменение схем армирования напрягаемой арматурой (количество напрягаемых элементов, их вид и расположение (например, в рабочих поясах ферм, балок и пр.), с учетом того обстоятельства, что за один оборот стеновой линии изготавливают изделия одного типа.

Стеновые технологические линии, *оснащенные короткими стендами* целесообразны к применению при выпуске изделий относительно небольшими партиями (сериями), с перспективой перехода (переналадки) на выпуск продукции иной номенклатуры.

Вместе с тем следует учитывать существенную роль типажа изделий, т.е. специализации бортоснастки (форм) и оборудования. Например, стенды для изготовления балок, ферм, большепролетных плит-оболочек и др. не могут быть взаимозаменяемыми.

В большей мере для напрягаемых изделий обеспечивается возможность переналадки (переоснащения) при изготовлении их в стено-камерах (или иных вариантах с выносными упорами (рис. 13)). В этих случаях конструкции форм облегчены, т.к. обеспечивают только формообразующую функцию.

При изготовлении ненапрягаемых изделий этим критериям в большей мере соответствуют стено-поддоны с наборами бортов на магнитах.

Во всех случаях проектирования стеновых линий (как, впрочем, и любых иных) необходим анализ и оценки вариантов с позиции экономичности, учета текущей потребности в производимой продукции и перспектив ее изменения.

2.2 Конвейерный способ производства

2.2.1 Общая характеристика способа.

Сущность конвейерного способа производства бетонных и железобетонных изделий заключается в том, что технологический процесс их изготовления разделяется на элементные циклы, которые выполняются на соответствующих постах (распалубки, подготовки форм, армирования и т.д.) одновременно.

Перемещение форм (вагонеток, поддонов, бортоснастки) с поста на пост осуществляется дискретно (на отдельных вариантах линий – непрерывно) с расчетным принудительным ритмом потока.

Продолжительность ритма зависит от трудоемкости отдельных технологических операций и их совокупности, выполняемой на соответствующих специализированных постах. Естественно, что от продолжительности ритма зависит производительность конвейерных линий. С целью ее повышения ритм потока стремятся минимизировать, увеличивая количество постов.

Следует учитывать, что при этом возрастает количество рабочих, задействованных на выполнении технологических операций каждого элементного цикла (поста), а также то, что совокупности операций, выполняемых на отдельных постах, во-первых должны логично вписываться в общий технологический цикл работы линии, а, во-вторых, должны быть синхронизированы по времени выполнения и соответствовать ритму потока.

Характерной особенностью конвейерных линий является соответствующее выполняемым операциям оборудование (оснащение) ее постов, а также то, что тепловая обработка изделий организуется в камерах (агрегатах) непрерывного принципа действия.

В проектных решениях разнообразных конвейерных линий реализованы одно-, или 2-х рядные, одно-, или 2-х ярусные камеры; туннельные проходные (напольные, выносные, заглубленные) камеры; камеры с вертикальным (подъем-опускание) перемещением форм с изделиями; вертикальные-ячейковые (с индивидуальным размещением форм с изделиями) проходные камеры; с боковым перемещением форм (проект для длинномерных опор ЛЭП); туннельные тупиковые камеры; термопакеты с индивидуальным подключением форм и др.

Все эти тепловые агрегаты характеризуются весьма сложным устройством и в совокупности с оснащением конвейерных технологических линий делают конвейерный способ производства наиболее металло-, энергоемким, с высокой степенью ремонтной сложности. Одновременно он характеризуется высокой производительностью и наибольшим, по сравнению с другими способами производства, удельным съемом продукции с 1 м² производственной площади.

С учетом изложенного рациональной областью конвейерного способа (или технологии) производства являются массово изготавливаемые изделия высокой трудоемкости (например, многослойные наружные стеновые панели). Либо менее трудоемкие однотипные изделия, но с большим объемом производства, например, плиты перекрытий сплошного сечения для зданий крупнопанельного (или иных видов) строительства. В обоих случаях технологический цикл может быть разделен на множество элементарных циклов, выполняемых на отдельных постах одновременно (параллельно, независимо друг от друга), обеспечивая необходимый (минимальный) ритм потока и высокую (требуемую) производительность технологических линий.

2.2.2 Типы и компоновочные решения конвейерных линий.

Вертикально замкнутые конвейеры – технологические линии (рис. 14 и 15), оснащенные заглубленными щелевыми проходными камерами для тепловой обработки изделий. Характеризуются наличием приямков и устройств для опускания форм-вагонеток (снижателей), подачи их в камеры тепловой обработки (толкателей), подъема после тепловой обработки на рабочий конвейер технологической линии.

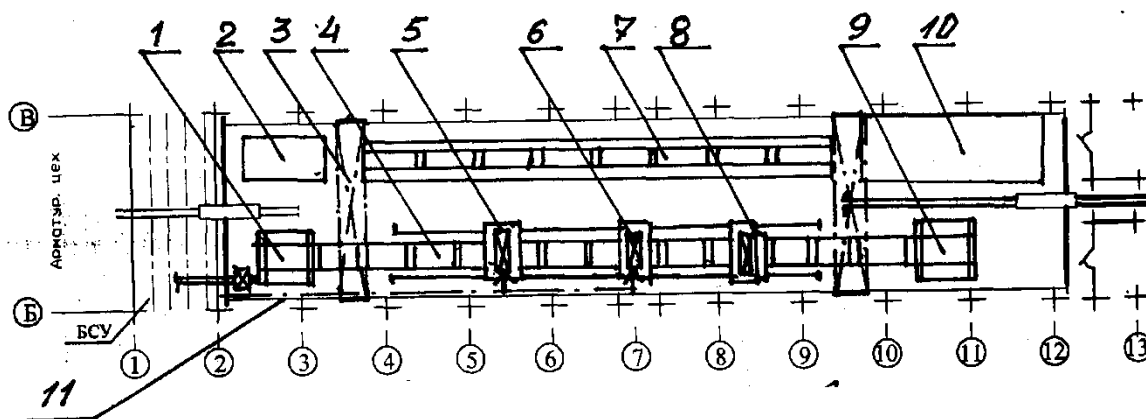


Рис. 14. Принципиальная схема вертикально-замкнутого конвейера в плане:

1 – подъемник; 2 – пост чистки изделий (мойки); 3 – кран; 4 – рабочий конвейер; 5 и 6 – бетоно (растворо) укладчики (раздатчики); 7 – конвейер отделки, начинки, доводки и ремонта изделий; 8 – устройство для отделки (присыпка; заглаживание и др.); 9 – снижатель; 10 – пост выдержки, ремонта и пр.; 11 – линия подачи бетона к бетоноукладчикам (раздатчикам).

Рабочий конвейер представляет собой совокупность постов, на которых осуществляются технологические операции элементарных циклов (распалубки, чистки-смазки форм, их подготовки, армирования, укладки (фиксации) проеомобразующих вкладышей и т.д.), необходимых для изготовления произвоимых изделий. В соответствии с этим посты оснащаются технологическим оборудованием: кантователями; устройствами для чистки-смазки; дополни-

тельными подъемными устройствами; бетонораздатчиками (укладчиками) и т.д. Привод конвейеров (перемещение форм-вагонеток) осуществляется в вариантах цепной передачи либо толкателями; особый вариант привода через фрикционные опорные элементы рассмотрен далее, применительно к линиям с перемещаемыми («циркулирующими») поддонами.

Связь рабочего конвейера (в частности, поста распалубки изделий) с конвейером (или постами) доводки изделий, выдержки и контроля качества, отгрузки на склад готовой продукции обеспечивается мостовыми кранами.

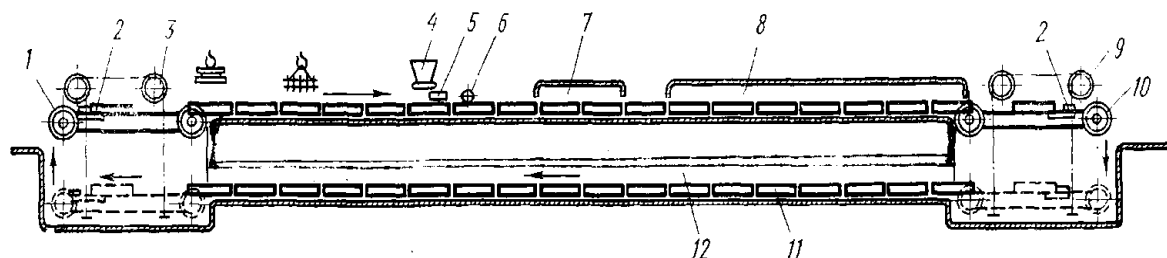


Рис. 15. Принципиальная схема (вид сбоку) вертикально замкнутого конвейера с дополнительной камерой тепловой обработки:

1 - подъемник, 2 - толкатели, 3, 9 - приводы, 4 - бетоноукладчик, 5 - вибронасадок, 6 - заглаживающее устройство, 7 - зона выдержки, 8, 12 - камеры тепловой обработки, 10 - снижатель, 11 - форма.

Кроме основных производственных постов рабочий конвейер может иметь между ними промежуточные посты (при необходимости), а также посты предварительной выдержки изделий перед тепловой обработкой. В ряде проектных решений (при относительно небольших размерах и трудоемкости изготавливаемых изделий) конвейеры оснащаются дополнительными участками камер тепловой обработки (рис. 15).

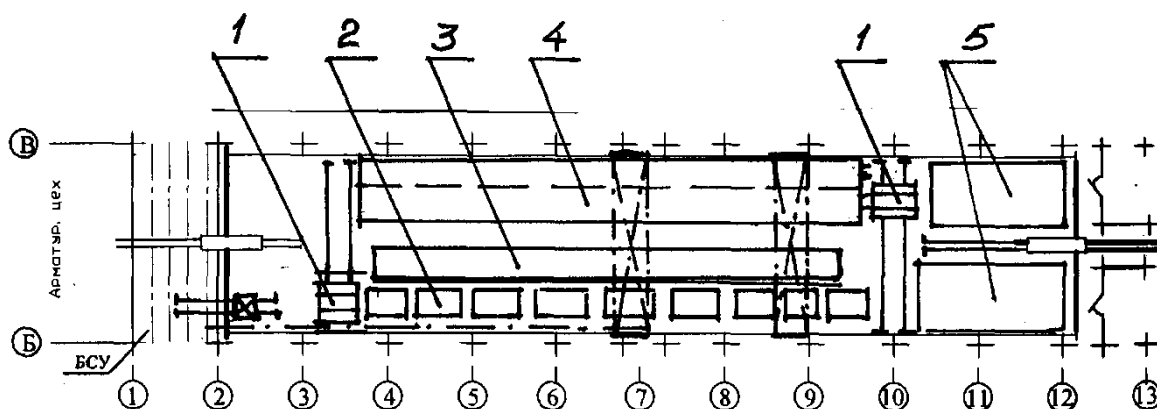


Рис. 16. Схема плана горизонтально замкнутого конвейера:

1 - передаточные мосты (№ 1 и № 2); 2 - рабочий конвейер; 3 - вспомогательные площади (запас арматуры, комплектующих и пр.); 4 - камера тепловой обработки; 5 - посты выдержки, ремонта, доводки и пр.

Горизонтально замкнутые конвейеры – технологические линии, характеризующиеся параллельным расположением рабочего конвейера и туннельных проходных (напольных (преимущественно) или заглубленных) камер для тепловой обработки изделий. При «традиционной» схеме компоновки технологических линий рабочий конвейер и камера тепловой обработки размещены в одном пролете (рис. 16)

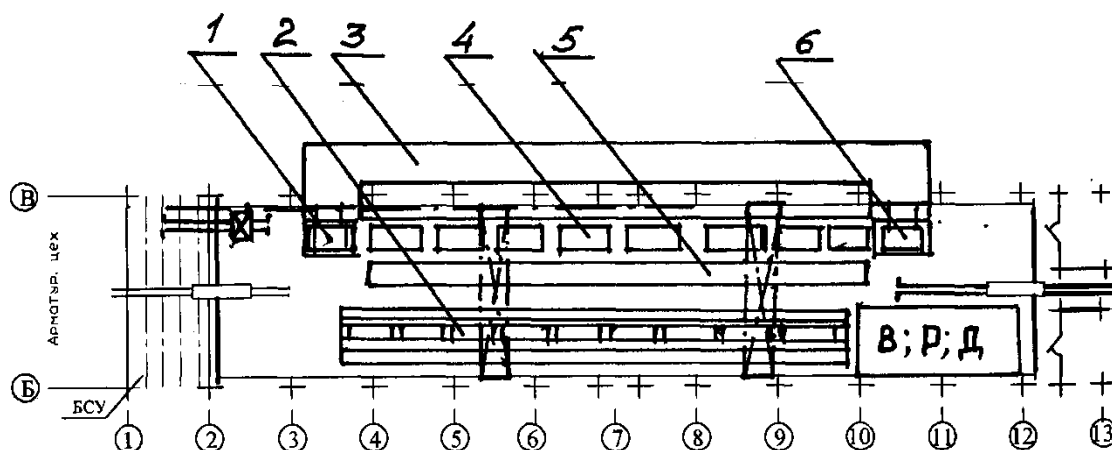


Рис. 17. Схема плана горизонтально замкнутого конвейера с выносными камерами:

1 и 6 – передаточные устройства; 2 – конвейер доводки, ремонта, начинки, отделки (при наличии; или – другая технологическая линия); 3 – выносная туннельная камера тепловой обработки изделий; 4 – рабочий конвейер; 5 – вспомогательные площади.

Существуют проектные решения, по которым камера тепловой обработки выполнена за пределами пролета (рис. 17), что целесообразно при изготовлении, например, многослойных наружных стеновых панелей. Возможны и иные варианты изготавливаемых изделий, если для их отделки, доводки (начинки) требуется размещение в цеху соответствующего оборудования и оснащенных им конвейеров (участков, постов).

Связь между рабочими конвейерами и камерами тепловой обработки горизонтально замкнутых конвейерных линий осуществляется с помощью напольных (преимущественно) передаточных мостов. Возможен вариант производства, при котором передача форм со свежееотформованным изделием к приемному участку камеры тепловой обработки и прошедшего ее изделия на рабочий конвейер (пост распалубки) осуществляется мостовыми кранами, обслуживающими пролет.

На рис. 18 приведена схема компоновки конвейерных технологических линий с *вертикальными камерами* тепловой обработки, оснащенных обгонным (возвратным) путем и напольными передаточными мостами, с помощью которых осуществляется технологический процесс.

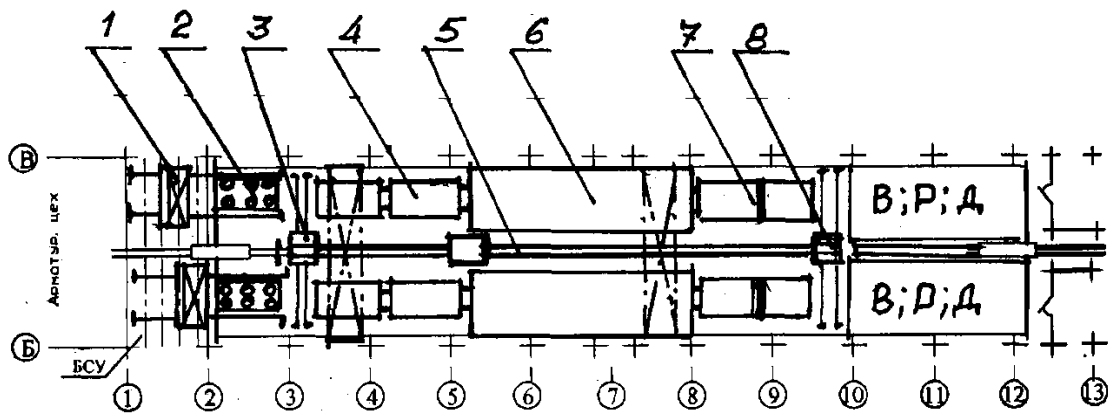


Рис. 18. Схема плана технологических линий с вертикальными камерами непрерывного действия:

1 – бетоноукладчик; 2 – пост формования; 3 и 8 – передаточные мосты; 4 – промежуточные посты (включая, при необходимости, заглаживание (отделку) поверхности); 5 – обгонный конвейер (для передачи форм); 6 – вертикальная камера тепловой обработки изделий; 7 – комплексный пост распалубки, подготовки и армирования;

Формы с изделиями, прошедшими тепловую обработку, поступают на комплексный пост(ы) № 7, где осуществляют операции распалубки (передачи напряжения – при необходимости), подготовки форм и армирования изделий (преднапряжения – при необходимости). По завершении этих операций подготовленные формы через передаточные мосты № 8 и № 3 и обгонный путь № 5 поступают на формовочные посты № 2. В рассматриваемом варианте передаточный мост № 3 одновременно осуществляет функции формоукладчика для подачи форм на формовочный пост № 2 и передачи их после формования изделий на пост № 4 (выдержки, отделки – при необходимости).

Компоновочное решение рис. 18 может иметь упрощенные варианты: а) передаточные мосты № 3 и № 8 отсутствуют и формы на обгонный путь, на пост формования и с него - на пост выдержки (отделки поверхности), подают мостовыми кранами; б) отсутствуют передаточные мосты и обгонный путь, а связь между постами подготовки (армирования) № 7, формовки - № 2 и выдержки (отделки поверхности) - № 4 осуществляется мостовыми кранами. Оба эти варианта относятся классификационно к «полуконвейерным линиям», сочетающим особенности конвейерного и агрегатно-поточного способов производства.

Смешанный способ производства, совмещающий признаки конвейерного и агрегатно-поточного способов, эффективно реализуется в вариантах полуконвейерных 2-х ветвевых технологических линий (рис. 19).

Особенностью этих линий является организация выполнения комплекса подготовительных операций, включая распалубку изделий, передачу преднапряжения на бетон (при необходимости), подготовку форм, армирование (напряжение при необходимости), на конвейере (№ 5). Формование изделий

осуществляется на 2-х формовочных постах (№ 2), при последующей тепловой обработке их в ямных пропарочных камерах (№ 7), то есть, по мере наполнения расчетным количеством форм (поддонов).

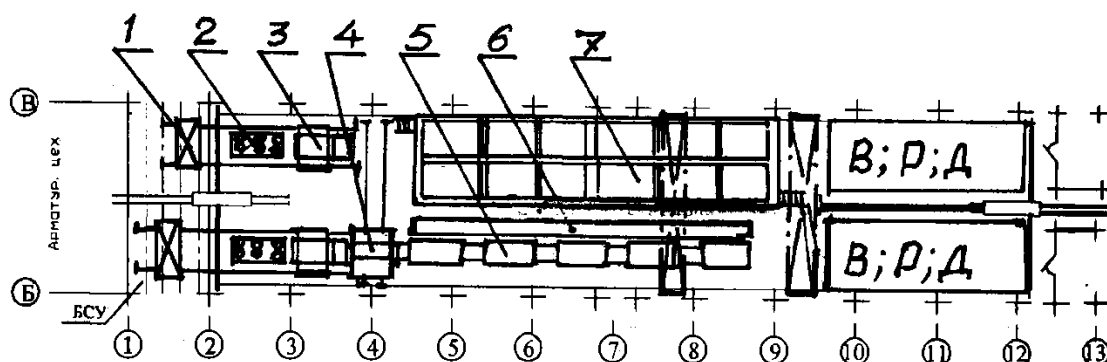


Рис. 19. Схема плана полуконвейерной технологической линии:

1 - бетоноукладчик; 2 - пост формования; 3 - формоукладчик (или портал самоходный со съемной бортоснасткой и пригрузом); 4 - передаточный мост; 5 - конвейер подготовки форм (поддонов); 6 - вспомогательные площадки; 7 - блок камер тепловой обработки; 8 - пост выдержки, ремонта, доводки и приемки изделий.

Такой вариант производства универсален и допускает организацию производства разнообразных изделий. Ограничения связаны с допускаемыми размерами форм (поддонов) и предусмотренными габаритами постов конвейера, отсеков ямных камер, габаритов формовочного поста и грузоподъемности (мощности) виброплощадки (№ 2), а также бетоноукладчика (раздатчика) (№ 1) и формоукладчика (№ 3) при его наличии.

Связь между постом формования, блоком ямных камер, подача форм (поддонов) на распалубку, а также изделий на пост выдержки и при отгрузке на склад готовой продукции обеспечивается мостовыми кранами.

Реализация смешанного способа возможна по упрощенным вариантам. В частности: а) при отсутствии передаточного моста, но при наличии формоукладчиков (или самоходных порталов, либо рольгангов) для установки подготовленных форм (поддонов) на пост формования; б) без передаточного моста и без устройств для подачи формы на пост формования. В этих вариантах технологических линий формы (поддоны) подают краном с последнего поста конвейера на формоукладчик (или иное) по схеме а), либо на виброплощадку поста формования для схемы б).

Конвейерные линии перемещаемых (циркулирующих) поддонов предполагают использование крупногабаритных несущих поддонов, оснащаемых сменными наборами бортоснастки на магнитах, что позволяет комбинировать и изменять по мере потребности номенклатуру изготавливаемых изделий. В целом технологические линии (их оснащение оборудованием, камерами тепловой обработки, участков подготовки съемной бортоснастки и пр.)

ориентированы на выпуск определенных видов изделий, например, наружных стеновых панелей (рис. 20). Но, вместе с тем, в пределах проектных габаритов и при наличии соответствующей бортоснастки обеспечивается выпуск иных видов продукции.

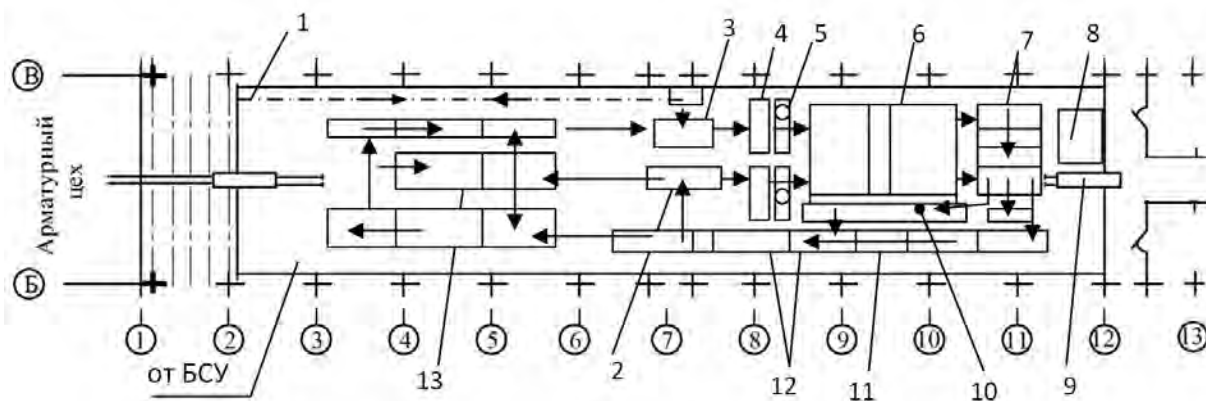


Рис. 20. Принципиальная схема компоновки линии перемещаемых (циркулирующих) поддонов:

1 – адресная (бадья самоходная) подача бетона; 2 – пост укладки и формирования нижнего (первого) слоя бетона; 3 – пост укладки и формирования верхнего слоя бетона; 4 – установка с виброрейкой; 5 – заглаживающая машина; 6 – камера тепловой обработки (с подъемником и снижателем для перемещения поддонов с изделиями); 7 – пост (участок) съема бортоснастки и распалубки изделий; 8 – пост выдержки (доводки, ремонта, приемки) изделий; 9 – телега вывоза готовой продукции; 10 – участок подготовки бортоснастки; 11 – участок разметки поддона для установки бортоснастки; 12 – участок выставки бортов по типу изготавливаемых изделий; 13 – участок выполнения работ по армированию, укладке утеплителя и иных операций, связанных с изготовлением конкретных видов изделий.

Рассмотрим организационно-технологическую последовательность работ изготовления, например, наружных (многослойных) стеновых панелей на технологической линии рис. 20.

После тепловой обработки в камере ячейкового типа (№ 6; в ячейке на один поддон с изделиями) поддон с изделиями(ем) поступает на пост (участок) распалубки. Здесь вначале снимаются борта внешнего контура, затем последовательно изделия и борта внутреннего контура (при наличии). Изделия краном подают на пост выдержки (ремонта, доводки, приемки), а бортоснастка поступает на пост (участок) подготовки (чистки, смазки) для следующего цикла формирования (№ 10).

Поддон проходит чистку-смазку и поступает на линию (№ 11; № 12) разметки (автоматизированно – плотер, или механическим разметчиком) для последующей установки бортоснастки под очередной цикл формирования (№ 12).

Поддон в сборе с бортоснасткой поступает на пост формирования № 2, где укладывается и уплотняется (виброплощадка) первый слой бетона. При изготовлении трехслойной(ых) панели(ей) поддон поступает на участок № 13 для

армирования, укладки утеплителя, установки гибких связей и т.д. В случае изготовления однослойного(ых) изделия(ий) поддон поступает на дополнительное уплотнение бетона виброрейкой № 4 (при необходимости), заглаживание поверхности машиной № 5 и на тепловую обработку (№ 6).

Поддон трехслойных(ой) панелей(ли) с «начинкой» поступает с участка № 13 на пост формования № 3. Здесь укладывается, распределяется (формуется) и частично уплотняется 2-ой слой бетона. Для качественного выполнения этого процесса (с учетом сложной конфигурации изготавливаемого изделия, наличия пазух по его контуру, тонкого слоя бетона) устройство для формования запрограммировано на выполнение ряда манипуляций, включая изменяющиеся направления колебаний как по горизонтальной, так и вертикальной составляющей.

После формования на посту № 3 поддон с изделиями(ем) поступает к виброрейке № 4, где бетон окончательно уплотняют, а затем заглаживают (машина № 5) поверхность изделий(ия). Далее поддон поступает в свободную ячейку камеры № 6, где проходит тепловую обработку и технологический цикл повторяется заново.

Несмотря на массивность несущей части и лицевой части поддонов (обеспечивающих им жесткость конструкции) эти линии характеризуются меньшей металло-, и энергоемкостью, чем традиционные конвейерные линии. В частности, за счет сменной бортоснастки (в сравнении с традиционными формами), а также оригинальной рольганговой конструкции – системы передвижения поддонов (рис. 21).

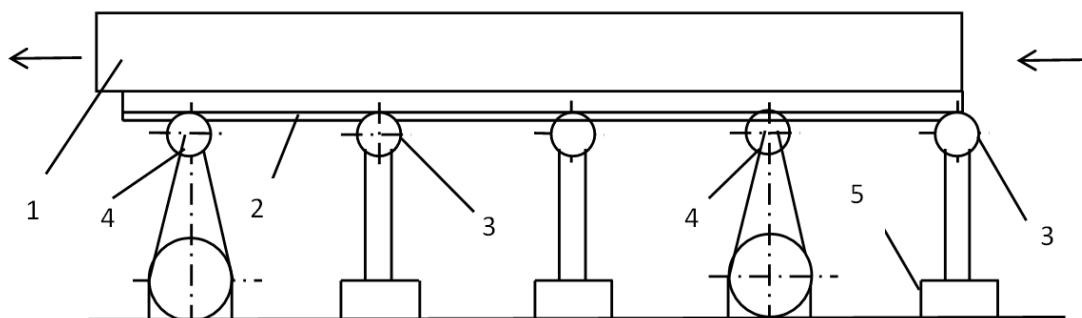


Рис. 21. Принципиальная схема рольгангового привода перемещения поддонов

1 – поддон с бортоснасткой; 2 – силовая опорная часть поддона; 3 – опорный ролик; 4 – приводной (фрикционный) опорный ролик; 5 – стойки-опоры обоих видов роликов.

Применительно к общему конструктивному решению конкретной технологической линии, оснащенной соответствующими по габаритам поддонами и технологическим оборудованием, конструируется система рольгангового привода на отдельно стоящих опорных и приводных (фрикционных) роликах,

обеспечивающая связь (перемещение поддонов) между отдельными постами (участками) как в продольном, так и в поперечном направлении (в соответствии с требуемой последовательностью выполняемых работ; рис. 20). Пространство между опорами роликов свободно, что обеспечивает удобство перемещения работающих, оснащения (механизмов), грузов (материалов, комплектующих деталей и т.п.).

Карусельные и роторные конвейерные технологические линии.

Карусельные конвейерные линии в основном используются для изготовления объемных элементов: санитарно-технических кабин, шахт лифтов и т.п. На рис. 22 приведен вариант компоновочного решения технологической линии для производства санитарно-технических кабин, размещенной в типовом унифицированном пролете «УТП-1».

На карусельной установке (№ 5 и № 6) изготавливают объемный элемент санитарно-технической кабины по принципу «колпака». То есть, при одновременном формовании стен и потолочной части конструкции, которая затем монтируется на плиту пола кабины, изготавливаемую отдельно на участке №№ 1,2,3 и 4.

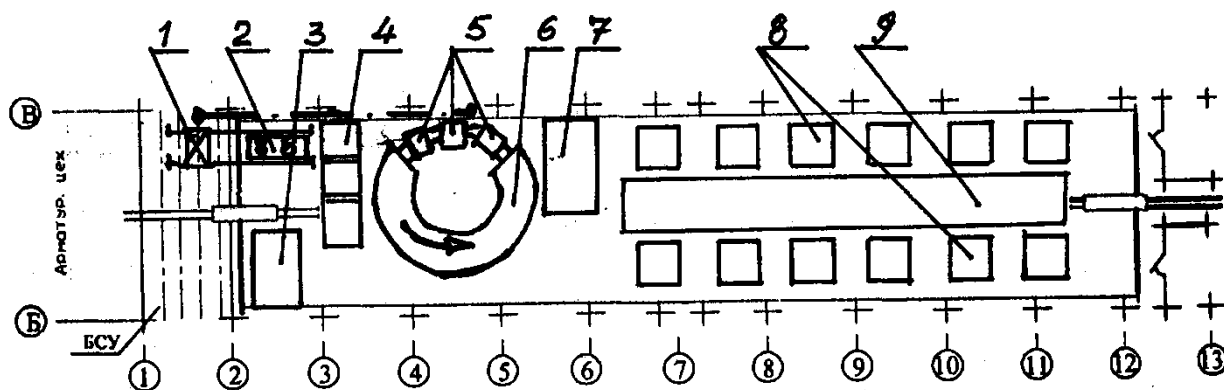


Рис. 22. Принципиальная схема плана карусельной линии:

1 – бетоноукладчик; 2 – пост формования поддонов; 3 – пост распалубки, подготовки, армирования поддонов; 4 – камеры тепловой обработки поддонов; 5 – посты карусели: распалубки – армирования; формования и дополнительный; 6 – камера тепловой обработки изделий; 7 – пост подготовки (хранения запаса) арматурных каркасов; 8 – посты сборки, ремонта, доводки и отделки (начинки) сантехкабин; 9 – вспомогательные площади.

Карусельная установка представляет собой подвижную вращающуюся платформу, на которой размещены объемные формы с открывающимися боковыми бортами и неподвижным формообразующим сердечником, выполненным с технологическим уклоном (с сужением) к верхней его части. Открытая зона карусели (посты № 5) обычно составляет три поста, на которых последовательно выполняют операции распалубки, подготовки формообра-

зующих поверхностей и армирования пространственным каркасом (монтируемым на сердечник), формования изделия и предварительной выдержки. На последнем открытом посту в ряде вариантов устройства скрытой электропроводки (а также при одновременном с кабиной формовании вентиляционного блока) из бетона извлекают формообразующие элементы.

Далее, в закрытой части карусели, изделия проходят тепловую обработку, после чего попадают на первый открытый пост для распалубки и цикл изготовления «колпака» кабины повторяется заново.

Плиту пола кабины в рассматриваемом варианте проектного решения (т.к. кроме этого практикуется изготовление на соответствующей специализированной карусели) изготавливают на специализированном участке, включающем бетоноукладчик (№ 1), виброплощадку (формовочный пост № 2), пост распалубки – подготовки форм (№ 3) и ямные камеры (либо теплоизолированные колпаки) тепловой обработки (№ 4).

Сборку плит пола с колпаком кабины, заделку стыков между ними, операции по облицовке пола и стен кабины (при необходимости), начинку санитарно-техническим оборудованием и арматурой (при необходимости) осуществляют на стационарных постах (8) линии сборки, доводки, начинки и приемки изделий. Одновременно при выполнении этих операций изделия выдерживаются необходимое (для зимних условий работы – обязательное) время в помещении цеха. После приемки – отгружаются на склад готовой продукции.

Роторные конвейерные линии – своеобразный вариант конвейерной технологии изготовления бетонных (рис. 23) и железобетонных (рис. 24) изделий, проектные решения которой включают как линию формования изделий (показаны на рис. 23 и 24), так и бетоносмесительное производство для обеспечения ее бетонной смесью с целью организации бесперебойной и высокопроизводительной работы формовочной линии.

Бетоносмесительные отделения на схемах рис. 23 и рис. 24 не показаны, но согласно проектным решениям бетоносмесители и бункеры приема от них, накопления и выдачи к формовочным постам бетонной смеси конструктивно располагаются над последними. Следует отметить, что проект роторной конвейерной линии изготовления железобетонных плит (рис. 24) на территории Беларуси не был реализован.

Две роторные конвейерные линии с клиновыми формообразующими элементами для изготовления блоков стен подвалов были смонтированы и успешно функционировали на одном из предприятий ОАО «Минскжелезобетон» г. Минска. Их различием было то, что камера - участок линии для тепловой обработки изделий (№ 12, рис. 23), на одной из них оснащена регистрами паробогрева, а на второй прогрев осуществляется в электромагнитной (индукционной) камере.

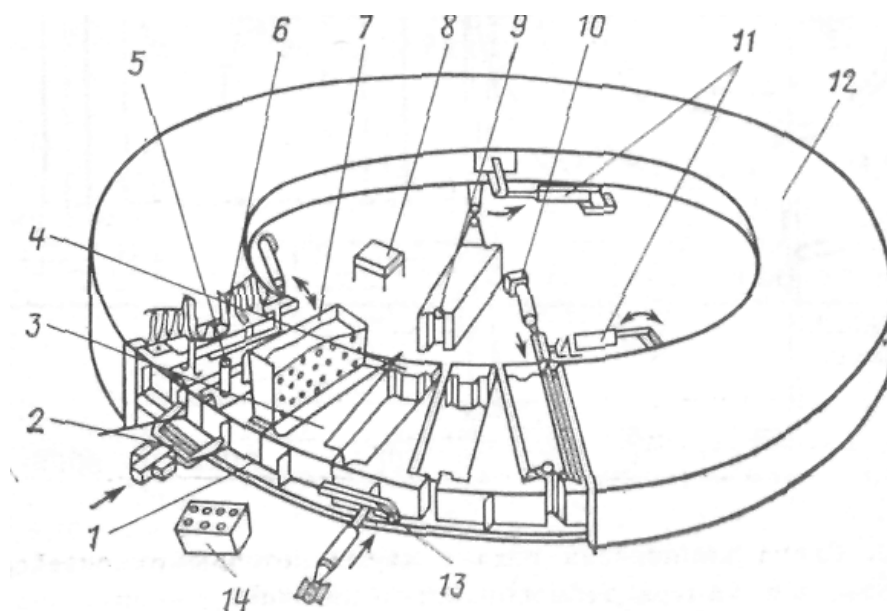


Рис. 23. Схема роторной конвейерной линии с клиновыми формообразующими элементами для изготовления блоков стен подвалов:

1 — кольцевой поворотный поддон; 2 — механизм фиксации; 3 — клиновья опалубка; 4 — короб-опалубка торца; 5 — вибропакет; 6 — механизм установки петель; 7 — накопительный бункер; 8 — гидростанция; 9 — механизм съема блоков; 10 — механизм распалубки; 11 — рычажный привод поворота поддона; 12 — кольцевая камера термообработки; 13 — механизм сборки опалубки; 14 — пульт управления .

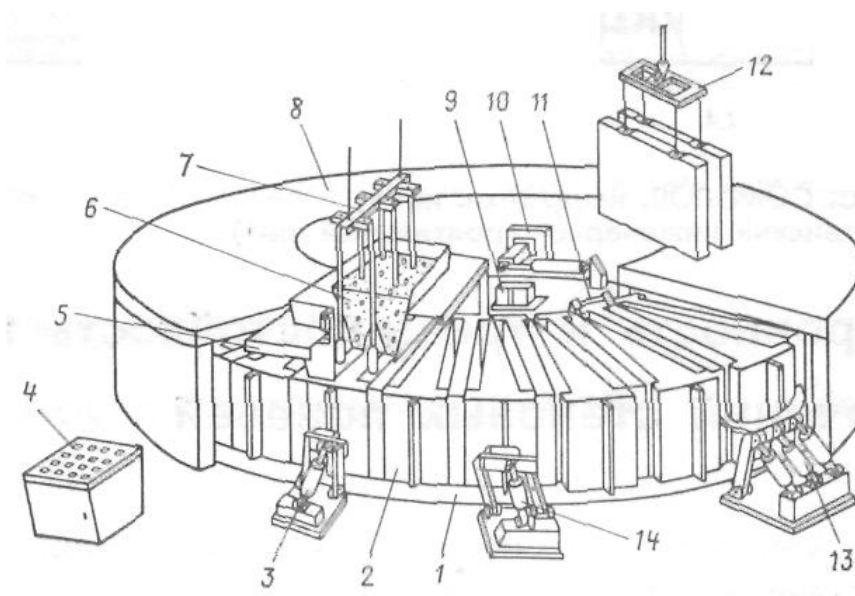


Рис. 24. Схема роторной конвейерной линии изготовления железобетонных плит:

1 — кольцевой поворотный поддон; 2 — клиновья опалубка (клиновья элемент и стенки-перегородки); 3 — механизм фиксации опалубки; 4 — пульт управления; 5 — рама; 6 — накопительный бункер; 7 — вибропакет; 8 — кольцевая камера термообработки; 9 — гидростанция; 10 — рычажный привод поворота поддона; 11 — механизм распалубки изделий; 12 — грузоподъемный механизм; 13 — механизм упора; 14 — механизм сборки опалубки.

Работа на линиях рис. 23 выполняется в следующем порядке. Поворот на один шаг (один блок) поддона установки выводит из камеры тепловой обработки изделие и один из клиновидных формообразующих элементов. Последний отжимается (сдвигается) из рабочего положения механизмом распалубки (№ 10) и, смещаясь, высвобождает блок. Изделие краном (или иным подъемным механизмом) перемещается к месту выдержки (доводки, ремонта, приемки). Формообразующие клинья очищаются, смазываются и с помощью механизма сборки (№ 13) перемещаются в рабочее положение, при котором соседние клинья образуют форму блока стен подвалов.

Форму заполняют бетонной смесью из накопительного бункера (№ 7) и, после очередного подворота кольцевого поддона, уплотняют с помощью вибропакета (№ 5), состоящего из 3-х (и более, при необходимости) глубинных вибраторов. Поверхность (при необходимости) заглаживают и устанавливают монтажные петли (№ 6).

Затем изделия проходят тепловую обработку и цикл начинается заново.

2.3 Агрегатно-поточный способ производства.

2.3.1. Сущность способа и рациональная область применения.

Агрегатно-поточный (или – агрегатный) способ изготовления бетонных и железобетонных изделий также, как и конвейерный, основывается на разделении технологического цикла их изготовления на элементные циклы, выполняемые на отдельных специализированных постах.

Отличия заключаются, во-первых, в меньшей степени разделения на элементные циклы, а значит и ритм потока будет большей продолжительности при меньшем количестве постов, чем при конвейерном способе производства. В наиболее распространенных проектных решениях технологические линии агрегатно-поточного способа производства изделий характеризуются наличием постов: распалубки-подготовки форм (бортоснастки), армирования, формования и тепловой обработки изделий. В следствие увеличения времени ритма потока производительность этих линий (при изготовлении однотипных изделий) уступает конвейерным.

Во-вторых, перемещение форм между постами осуществляется кранами; реже – дополнительными механизмами или с использованием устройств, характерных для оснащения конвейерных линий, например, приводных рольгангов, формоукладчиков. Это одна из причин увеличения ритма потока.

Третье отличие заключается в том, что тепловая обработка изделий осуществляется в камерах (агрегатах) периодического принципа действия. То есть, по мере накопления расчетного для используемого варианта тепловых агрегатов количества форм (поддонов с изделиями). В результате удлиняется технологический цикл изготовления изделий по сравнению с независимым

(индивидуальным) вариантом прохождения тепловой обработки в камерах непрерывного принципа действия, присущего конвейерному способу производства.

Одновременно с указанным агрегатно-поточный способ производства характеризует «гибкость» технологии. Такие технологические линии достаточно просто переналаживаются на выпуск разнородной продукции. Зачастую для этого достаточно иметь соответствующую бортоснастку. Ограничения связаны в основном с оснащением формовочных постов (допускаемые габариты форм и изготавливаемых изделий, грузоподъемность виброплощадок и пр.), а также с габаритами и оснащением камер (агрегатов) тепловой обработки изделий. При этом технологические линии, расположенные в одном пролете, могут оснащаться оборудованием под выпуск не только изделий одного типа при различии размеров (например, плит пустотного настила длиной 6 и 9 м (или иных)), но и изделий разных видов (размеров, конфигурации, схем армирования (включая преднапряжение) и т.д.). Во всех этих вариантах должны быть предусмотрены необходимые условия для изготовления разнотипных изделий (оснащение, оборудование постов технологической линии), а также для их тепловой обработки изделий (требуемое количество, габариты и оснащение тепловых агрегатов).

По общей металло-, энергоемкости и ремонтной сложности, т.е. по капитальным и эксплуатационным затратам, агрегатно-поточный способ занимает промежуточное положение: он менее затратен конвейерного, но уступает стендовому способу производства.

С учетом изложенного агрегатно-поточный способ наиболее рационален при выпуске разнородной продукции, а также однотипной крупногабаритной (например, преднапряженных ребристых плит, размерами до 3x12 м, и др.). Вместе с тем может быть выгоден при значительных объемах производства типовой продукции, в случаях если конвейерный способ окажется экономически менее целесообразным, либо в перспективе ожидается одновременное производство изделий различных видов и типоразмеров.

2.3.2. Основные типы технологических линий агрегатно-поточного способа производства.

Технологические линии изготовления бетонных и железобетонных изделий агрегатно-поточным способом могут быть подразделены на линии общестроительного назначения (на которых производят продукцию разных видов) и специализированные, предназначенные и оборудованные под выпуск определенных видов продукции: труб centrifугированных или виброгидропрессованных; плит пустотного настила или ребристых; centrifугированных или вибрированных опор ЛЭП и т.д. В зависимости от предназначения различается компоновка линий и их оснащение оборудованием.

Вариант компоновочного решения технологической линии *общестроительного назначения* представлен на рис. 25. Производственный процесс изготовления изделий реализуется в следующей последовательности. Форма с прошедшим тепловую обработку изделием из камер (№ 6) подается краном на пост распалубки (№ 5). Здесь, в зависимости от вида изделия, наличия или отсутствия преднапряжения арматуры осуществляют операции распалубки: выемку вкладышей, передачи преднапряжения на бетон и обрезки арматуры (при необходимости), открытие замков и бортов формы, очистку закладных деталей и фиксаторов (при необходимости) и т.п., строповку и съем изделия(ий) с последующим перемещением на пост выдержки. Освобожденную форму и другие формообразующие элементы (вкладыши, при наличии) очищают от остатков бетона, смазывают и собирают (полностью или частично – по мере надобности). В ряде случаев начинают работы по армированию изделий (при необходимости).

Подготовленную форму (поддон) передают краном на пост армирования (№ 4), где в проектные положения укладывают напрягаемую (при наличии) и ненапрягаемую арматуру, расставляют фиксаторы ее проектного расположения (при необходимости), устанавливают закладные детали, монтажные петли, герметизируют «выходы» из форм преднапрягаемой арматуры (при необходимости) и выполняют иные необходимые операции (например, окончательную сборку – фиксацию элементов формы и др.).

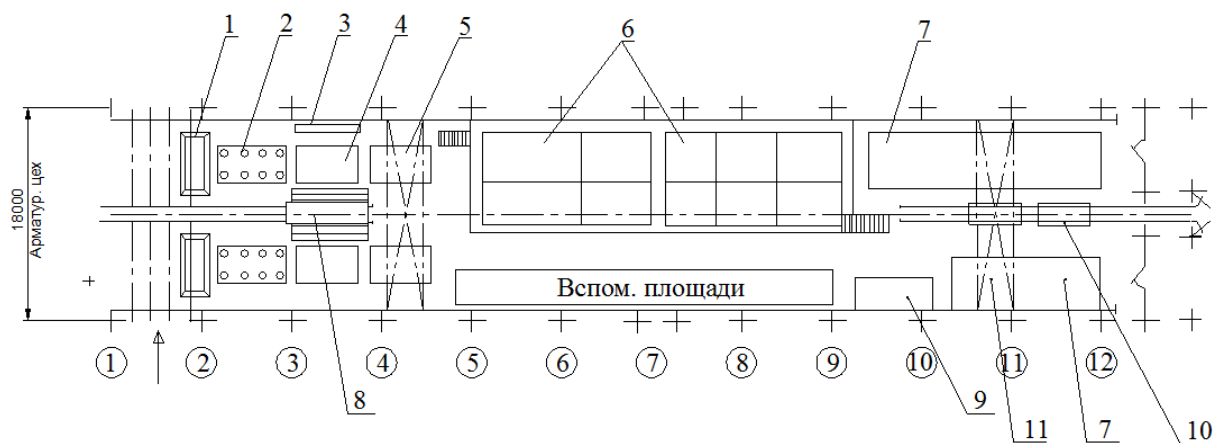


Рис. 25. Вариант компоновочного решения агрегатно-поточной технологической линии *общестроительного назначения*.

1 – бетоноукладчик (раздатчик); 2 – формовочный пост с виброплощадкой; 3 – установка для нагрева преднапрягаемой арматуры (при необходимости); 4 – пост армирования; 5 – пост распалубки, подготовки форм (армирования - при необходимости); 6 – блок ямных пропарочных камер (под разные типоразмеры форм – при необходимости); 7 – пост выдержки, ремонта (доводки), контроля (приемки) изделий; 8 – тележка подвоза арматуры; 9 – пост для испытаний (при необходимости) изделий; 10 – тележка вывоза готовой продукции; 11 – мостовой кран.

Подготовленную форму подают краном на пост формования (№ 2), где, используя бетоноукладчик (раздатчик) № 1, виброплощадку, иное оборудование поста формования, укладывают и уплотняют бетон, заглаживают поверхность изделия; при необходимости устанавливают монтажные петли, выполняют иные относящиеся к формованию конкретного изделия операции.

Форму с отформованным изделием подают краном в камеру тепловой обработки, где их накапливают в расчетном количестве, выдерживают требуемое по технологии изготовления время (по подаче в камеру последнего изделия) и подвергают тепловой обработке по расчетному режиму.

Очередную форму с прошедшим тепловую обработку изделием подают краном на пост распалубки-подготовки и технологический цикл осуществляется заново.

Изделия на посту выдержки (в зимний период (во избежание трещинообразования) по действующим нормативам время выдержки от 6 до 12ч) при необходимости ремонтируют, выполняют операции доводки (например, шпатлевание; заделку торцов напрягаемой арматуры; заделку бетонными вставками пустот и др.), производят осмотр и приемку ОТК, отгружают и вывозят (№ 10) на склад готовой продукции.

Особенностью приведенного на рис. 25 варианта компоновки технологической линии, характерной для традиционного агрегатно-поточного способа производства, является то, что все производственные операции по перемещению форм, изделий, иных грузов (включая тяжелые арматурные каркасы, вкладыши и т.п.) осуществляются обслуживающими пролет мостовыми кранами (№ 11). При проектировании таких линий следует учитывать, что краны будут чрезвычайно загружены. С учетом необходимости выполнения кроме основных и дополнительных крановых операций (открытие-закрытие крышек ямных камер; выгрузки арматуры и ее укладка; подача комплектующих и др.) в проектных решениях необходимо предусматривать мероприятия по снижению их загруженности. В частности, в рассматриваемом варианте компоновки технологической линии возможно взаимоувязать посты: формовочный (№ 2), армирования (№ 4) и подготовки (№ 8) по принципу конвейерной связи (например, приводным рольгангом). В результате уменьшается нагрузка на кран за счет операций передачи форм между этими постами. Возможны иные дополнительные решения, например, установка местного подъемного механизма для работы с арматурой и др.

Специализированные технологические линии компонуются и обустроятся оборудованием в соответствии с особенностями производства конкретных видов продукции. На рис. 26 приведена схема традиционной компоновки специализированной технологической линии для изготовления безнапорных центрифугированных труб.

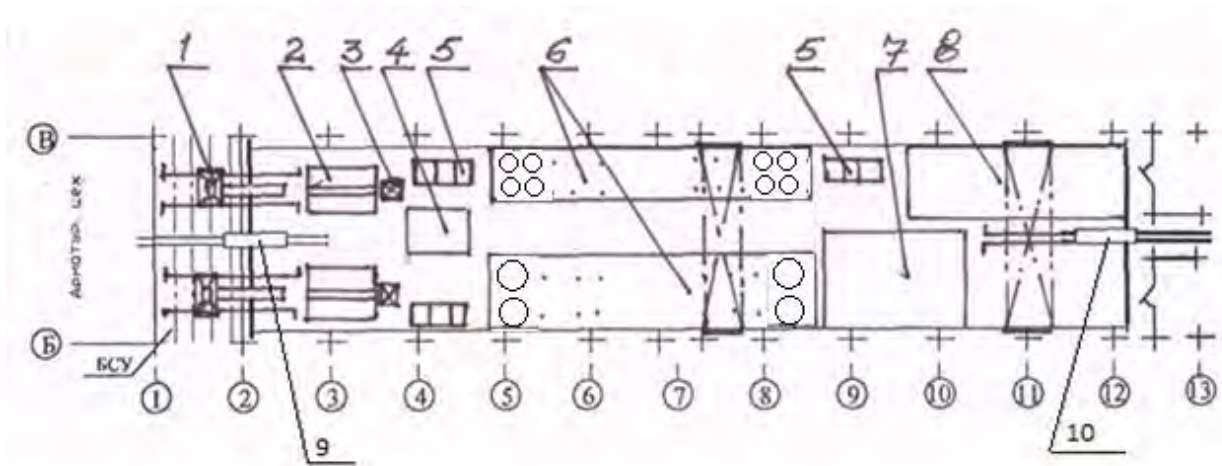


Рис. 26. Схема компоновки специализированной технологической линии для изготовления безнапорных центрифугированных труб:

1 – питатель ленточный; 2 – центрифуга; 3 – емкость для слива шлама; 4 - промежуточный пост хранения подготовленных форм; 5 – кантователь; 6 – посты тепловой обработки изделий (гнезда); 7 – пост распалубки, подготовки, армирования; 8 – пост выдержки, ремонта, доводки изделий; 9 и 10 – телега завоза арматурных каркасов и вывоза готовой продукции.

Технологический цикл изготовления этих изделий по приведенной схеме характеризуется следующим. Форма с изделием, прошедшим тепловую обработку на посту (№ 6, гнезде) в вертикальном положении перемещается краном на кантователь (№ 5), кантуется и подается на пост распалубки (№ 7). Это комплексный пост, на котором осуществляются все операции распалубки, чистки – смазки полуформ, армирования и сборки форм. Распалубленное изделие краном подается на пост выдержки.

Подготовленная форма подается краном на промежуточный пост – склад для создания резерва подготовленных форм, необходимый для сокращения времени ритма потока.

По завершении центрифугирования и остановки центрифуги (№ 2) оператор открывает защитное устройство, с помощью крана и траверсы сливается шлам (№ 3), форма с изделием подается на кантователь. За время кантования подготовленную форму с промежуточного поста-склада (№ 4) краном подают на центрифугу (№ 2).

Оператор центрифуги начинает процесс формования: с помощью бетоно-раздатчика (№ 1) при вращающейся на малых оборотах форме ее заполняют бетонной смесью в требуемом на изделие количестве, распределяют смесь и уплотняют бетон на расчетных оборотах формы. После остановки центрифуги выполняют ранее приведенные операции и цикл формования (центрифугирования) повторяется.

Форму с изделием с кантователя (№ 5) перемещают в вертикальном положении краном и устанавливают (фиксируют) на пропарочном гнезде поста тепловой обработки (№ 6). Прошедшее тепловую обработку изделие в форме подается (через кантователь № 5) на пост распалубки (подготовки, армирования - № 7) и технологический процесс начинается заново.

Изделия, прошедшие выдержку (доводку, ремонт – при необходимости), отгружаются на тележку вывоза (№ 10) и транспортируются на склад готовой продукции.

Напорные центрифугированные преднапряженные трубы, изготавливают по 3-х стадийной технологии на специализированных технологических линиях, вариант компоновки которых приведен на рис. 27.

Отличиями этой технологии от изготовления безнапорных центрифугированных труб являются:

- преднапряжение продольной арматуры на стадии изготовления железобетонного центрифугированного сердечника (в остальном технология его изготовления подобна рассмотренной в предыдущем разделе), т.е. на 1-ой стадии;

- дозревание сердечника (24ч...48ч) в воде (в ваннах № 6), подогретой до 30...40 °С (2-ая стадия);

- преднапряжение в поперечном направлении путем навивки (с шагом 14...40 мм) проволочной арматуры (диаметром 3,5...5мм) с использованием термомеханического способа натяжения (№ 7), с последующим нанесением защитного слоя (~ 20...25мм) из цементно-песчаного раствора (№ 8) и его тепловой обработки в ямных пропарочных камерах (№ 9) (Стадия 3).

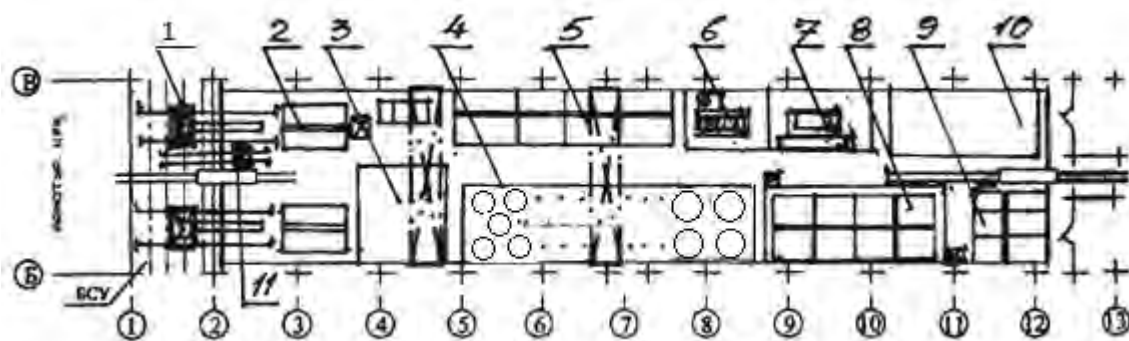


Рис. 27. Схема компоновки специализированной технологической линии для изготовления напорных центрифугированных преднапряженных труб (3-х стадийная технология):

1 – питатель ленточный; 2 – центрифуга; 3 – пост распалубки сердечников; подготовки – сборки форм; укладки и натяжения продольной арматуры; 4 – гнезда тепловой обработки сердечников; 5 – водные камеры дозревания сердечников; 6 – пост навивки поперечной преднапряженной (спиральной) арматуры; 7 – пост нанесения защитного (растворного) слоя; 8 - камеры тепловлажностной обработки защитного слоя; 9 – стены гидротестирования труб; 10 – пост выдержки, ремонта, доводки труб; 11 – бадья самоходная (подача раствора наружного (защитного) слоя).

Особенностью технологий изготовления напорных труб является сплошной контроль изделий, включающий обязательные испытания каждого из них гидростатическим давлением на специализированных стендах (№ 10). В зимний период после гидроиспытаний трубы выдерживают в цеху (№ 11), прежде чем отправлять на склад готовой продукции (потребителю).

При изготовлении сердечника операции армирования включают механическое натяжение продольной стержневой арматуры (\varnothing 10..12мм) на собранную (подготовленную, включая армирование пространственным каркасом) форму. Последующее поперечное преднапряженное армирование спирально навитой проволокой дополняет усилие от напряжения на бетон продольных стержней, создавая условия «объемного» сжатия его структуры. В результате уменьшаются (закрываются) сечения каналов от фильтрации воды, отжимаемой в процессе центрифугирования. Возрастает плотность и непроницаемость бетона, обеспечивается водонепроницаемость и требуемая степень (класс) напорности труб.

Одновременно продольная напряженная арматура обеспечивает трещиностойкость при транспортировании труб и монтаже трубопроводов, а спиральная – функции рабочей арматуры, обеспечивающей восприятие давления воды (жидкости) внутри трубопровода.

На рис. 28 представлен вариант компоновочного решения технологической линии для изготовления *виброгидропрессованных напорных преднапряженных труб*.

Для данного компоновочного решения производственный технологический процесс будет характеризоваться следующей последовательностью выполнения работ. Форму в сборе с прошедшим тепловую обработку изделием (пост № 6) подают краном на пост комплектации (прямо́к - № 5), где осуществляют отсоединение и съём внешней ее части (далее – форма) с изделием с внутреннего сердечника (с резиновым чехлом для опрессовки бетона).

Форму с изделием подают краном на пост распалубки – подготовки - армирования (№ 8 или № 9), где последовательно производят операции: передачи усилия преднапряжения продольной арматуры на бетон, распалубки и съема изделия, подготовки и сборки форм (из полуформ или их четвертей для диаметров труб 1200...1600мм), герметизация стыков формы, армирования, включая механическое (преднапряжение продольной арматуры) и др.

Подготовленную форму подают краном на пост № 7 для герметизации выходов продольной арматуры нижнего анкерного кольца растре́ба. После чего в прямо́ке поста № 5 «одевают» на сердечник и собирают в единое целое, перемещают на пост № 3 и комплектуют центрирующим кольцом, загрузочным конусом и вибраторами; устанавливают на один из постов формования и формируют при непрерывном вибрировании и медленной, равномерной подаче бетона шнековым питателем (№ 1).

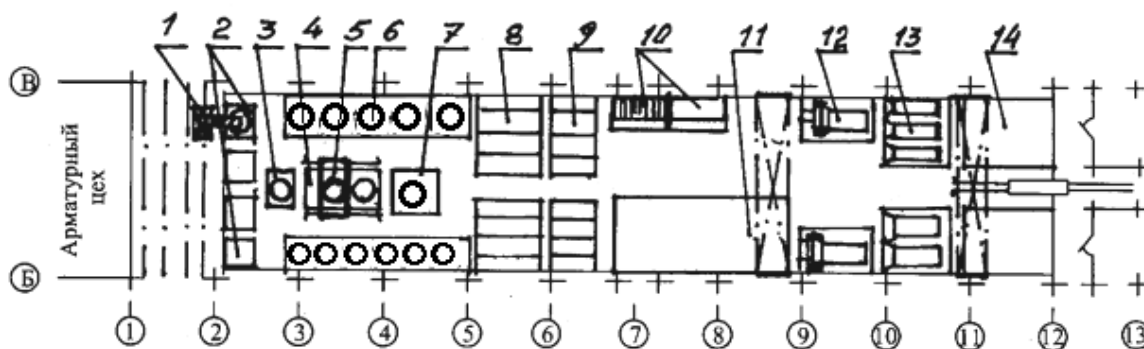


Рис. 28. Схема компоновки специализированной технологической линии для изготовления виброгидропрессованных напорных преднапряженных труб:

1 – шнековый бетонораздатчик-питатель; 2 - посты формирования труб; 3 – пост установки (снятия) центрирующего кольца, загрузочного конуса, навесных вибраторов; 4 - пост (прямо́к) комплектации (сборки сердечника и наружной части формы и их разборки после тепловой обработки); 5 – передвижная платформа поста комплектации; 6 - посты опрессовки и тепловой обработки бетона (изделий); 7 – пост герметизации (парафинирования отверстий нижнего анкерного кольца); 8-9 – посты распалубки, подготовки, армирования, сборки форм и преднапряжения продольной арматуры; 10 - установки заготовки арматурных каркасов; 11, 14 – посты выдержки изделий; 12 – установки для шлифовки раструба; 13 – посты гидроиспытаний труб.

Форму с отформованным изделием (после съема формовочных приспособлений на посту № 3) подают на пост опрессовки и тепловой обработки (№ 6). Создавая давление воды (рационально - подогретой до температуры последующего прогрева) изнутри на резиновый чехол сердечника (обычно до 3,5 МПа) бетон опрессовывают, заставляя и уплотняясь, и расширяться под равномерно приложенным давлением с некоторым увеличением диаметра трубы (обеспечивает конструкция внешней формы, стыки которой соединены подпружиненными болтовыми соединениями). При расширении бетона, имеет место опирание спиральной арматуры объемного каркаса на сложившийся при формировании бетона «каркас» зерен крупного заполнителя, что обеспечивает создание в спиральной арматуре преднапряженного состояния.

Усилие опрессовки фиксируют на весь период последующей тепловой обработки (путем подачи теплоносителя во внутреннюю полость сердечника) до приобретения бетоном прочности, достаточной для восприятия преднапряжения спиральной арматуры после снятия гидростатического давления и путем откачки воды из полости сердечника. По завершении указанных операций форму в сборе подают в прямо́к № 5 и технологический процесс повторяется.

Кроме изложенного, особенностями данной технологии являются: изготовление пространственного каркаса с несмещаемой (в процессах формова-

ния и опрессовки) спиральной арматурой, путем ее механического крепления к продольным арматурным элементам каркаса (рис. 29); шлифовка внутренней полости раструба для создания качественного стыка трубопровода; сплошной контроль продукции путем гидроиспытаний каждой трубы.

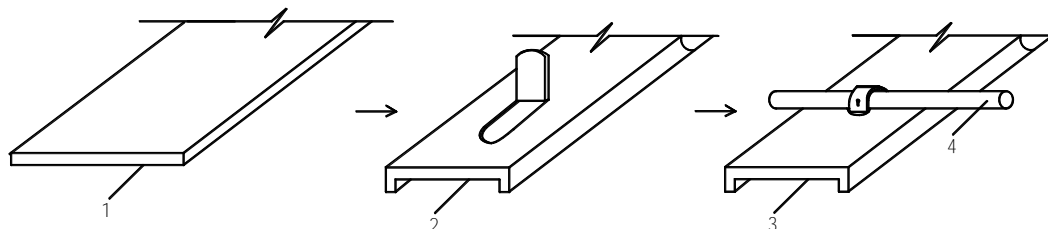


Рис. 29. Эскиз создания элементного стыка пространственного каркаса с механическим закреплением проволочной (преднапрягаемой при опрессовке изделий) спиральной арматуры:

1 – исходная металлическая полоса; 2 – та же полоса, но после гнутья на «швеллер» и высечки-отгиба крепежного элемента; 3 – обжатый крепежный элемент, зафиксировавший проволоку 4.

Пространственный каркас изготавливают на специальном оборудовании путем навивки проволоки (№ 4) на опорные продольные элементы, которые одновременно в расчетном количестве изготавливают из металлических полос (№ 1) в виде швеллера, с устройством в его «полке» высечек (№ 2). Проволока (№ 4) обжимается элементом высечки и фиксируется им (№ 3), что обеспечивает (при отсутствии сварки и связанных с ней проблем целостности стальных элементов и последующей коррозии) одновременно и податливость спирали при опрессовке, и целостность арматурного каркаса при перемещениях, установке в форму и формовании.

По технологии виброгидропрессования каждое изделие проходит операцию подшлифовки внутренней полости раструба, после чего подвергается гидравлическим испытаниям (в зимний период – последующей выдержке в цеху).

Вариант проектного решения *линии для изготовления напорных труб с металлическим сердечником* представлен на рис. 30.

Технологический процесс изготовления напорных труб с металлическим сердечником начинается с его изготовления, путем сварки на станке – стенде № 1 цилиндрической части; затем на стенде № 2 к нему приваривают раструбную и торцевую металлические обечайки.

Готовый сердечник (здесь и далее – с помощью приводного опорного рольганга – конвейера № 3) поступает на стенд гидроиспытаний № 4, откуда, после оценки качества сварки, перемещается на установку обезжиривания № 5. Здесь его сначала обрабатывают (содовым или мыльным раствором при температуре 60...70 °С), а затем моют горячей же водой.

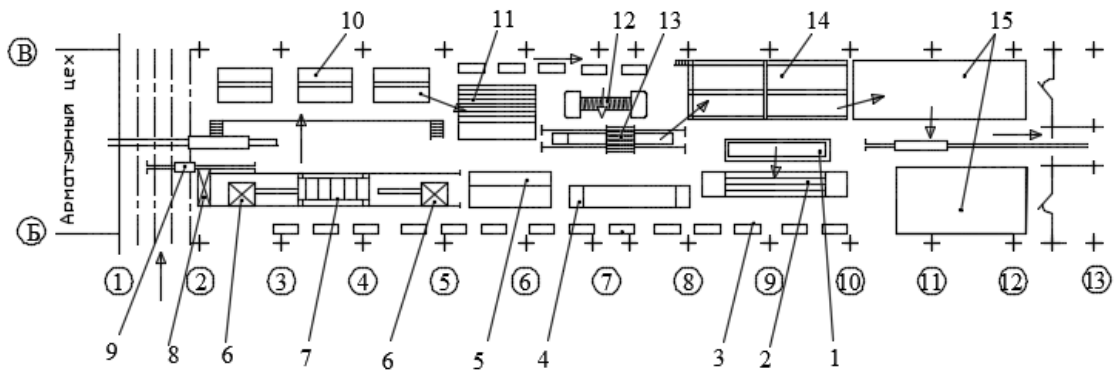


Рис. 30. Вариант компоновки специализированной технологической линии изготовления напорных труб с металлическим сердечником:

1 – станок (стан) сварки (заготовки) металлического сердечника; 2 - станок сварки сердечника с раструбной и торцевой обечайками; 3 – здесь и далее – опорные рольганги-конвейеры; 4 – стенд гидроиспытаний сердечника; 5 – установка обезжиривающая – мойки сердечника; 6 - ложковый (поворотный - опрокидной) питатель; 7 – центрифуга; 8 – бадья для подачи и загрузки бетонной смеси в ложковые питатели; 9 – бадья подачи бетонной (цементно-песчаной) смеси для торкретирования; 10 – камеры тепловой обработки внутреннего (центрифугированного) слоя бетона; 11 – пост съема бандажей (элементов жесткости с функцией опорных беговых дорожек при центрифугировании и промежуточного хранения сердечников с внутренним слоем бетонов); 12 – установка навивки спиральной проволочной напрягаемой арматуры; 13 – установка нанесения защитного слоя поверх спиральной арматуры (механическим набрызгом с помощью вращающихся барабанов); 14 – камеры тепловой обработки защитного слоя бетона; 15 – посты выдержки (доводки, ремонта, приемки) изделий.

Обезжиренный сердечник поступает к центрифуге № 7, где вначале на него надевают бандажи жесткости, одновременно – беговые (опорные) дорожки, а торцевые – ограничители (т.е. формообразующие элементы для торцов центрифугированного внутреннего слоя бетона трубы). После чего внутрь сердечника заходят опрокидные ложковые питатели № 6 с бетонной (мелкозернистой, цементно-песчаной) смесью (состав: Ц:П=1:3, при $(В/Ц)_6 \sim 0,5...0,6$) в их лотки в расчетном количестве (толщина слоя уплотненного бетона $\sim 25...30$ мм) из бадьи № 8).

Внутренний слой распределяют и уплотняют центрифугированием, дают стечь шламу после остановки центрифуги и краном со специальной траверсой (сердечник опирается на широкие полотнища (2 и более по длине)) подают на тепловую обработку в камеры № 10.

После тепловой обработки с сердечника с затвердевшим внутренним слоем бетона снимают бандажи и подают на установку № 12 для навивки преднапрягаемой спиральной проволочной арматуры на его поверхность (концы приваривают к обечайкам). В процессе навивки на цилиндр и проволоку в зоне их контакта сжатым воздухом (набрызгом, с помощью специального устройства) наносят цементное молоко. Цель – обеспечить контакт двух разных сталей через тонкую прослойку цементного камня и заполнить им зону

их стыка, в которую может не попасть бетон защитного слоя, а также – создать своеобразную «грунтовку» перед его последующим нанесением.

На навитую спираль и поверхность вращающегося сердечника на установке № 13 наносят (набрызгом (сверху – вниз) с помощью двух вращающихся барабанов, захватывающих смесь и направляющих ее на обрабатываемую поверхность) защитный внешний слой мелкозернистого бетона (25...30мм), ограниченный торцевыми (удерживающими сердечник) бабками таким образом, чтобы обеспечивать стык труб при монтаже согласно эскизу рис. 31.

После нанесения внешнего слоя бетона трубу краном со специальной траверсой (захваты входят с торцов внутрь трубы) подают (либо пакетируя вначале на торцевые (откидные) опоры в специальные контейнеры, либо сразу) в камеры тепловой обработки внешнего слоя бетона (№ 14).

Прошедшие тепловую обработку изделия, предназначенные для водоводов, выдерживают (доводят, ремонтируют – при необходимости), и, после приемки, вывозят на склад готовой продукции.

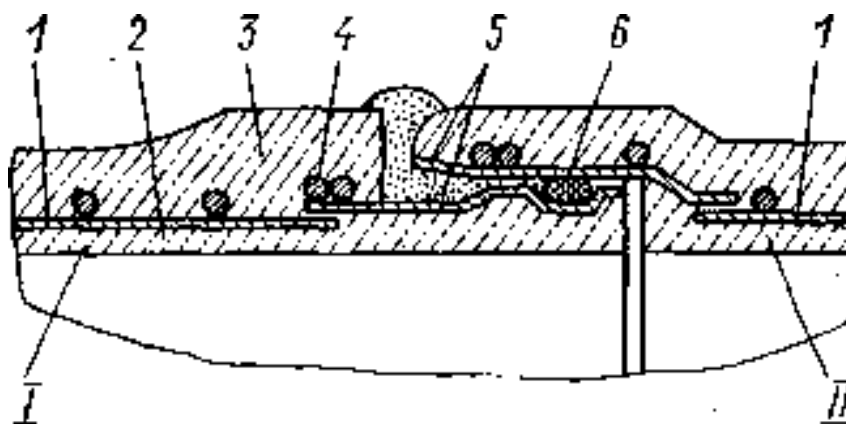


Рис. 31. Эскиз стыка двух труб с металлическими сердечниками:

I - втулочный конец трубы, II - раструбный конец трубы; 1 - металлические цилиндры, 2, 3 - внутренний и наружный слой бетона, 4 - спиральная напряженная арматура, 5 - концевые обечайки, 6 - резиновое уплотнительное кольцо

Изделия, предназначенные для технических трубопроводов транспорта агрессивных жидкостей, дополнительно (с целью повышения эксплуатационной надежности и долговечности) пропитывают ванновым способом полимерами (например, петролатумом).

Специализированная технологическая линия для изготовления длинномерных преднапряженных центрифугированных железобетонных опор линий электропередач (ЛЭП) представлена на рис. 32.

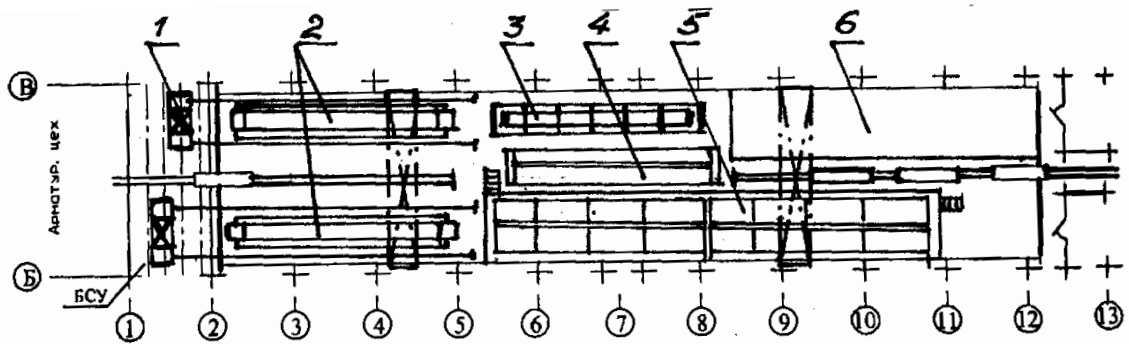


Рис. 32. Схема компоновки специализированной технологической линии для изготовления длинномерных опор ЛЭП:

1 – бетонораздатчик; 2 – посты-стенды армирования, укладки (в нижнюю полуформу) бетона, натяжения арматуры, сборки формы и передачи усилия преднапряжения на форму; 3 – центрифуга роликовая; 4 – посты-стенды передачи усилия преднапряжения на бетон, разборки форм, распалубки изделий; 5 – камеры тепловой обработки изделий; 6 – пост выдержки, ремонта, доводки изделий.

На посту-стенде (№ 2) выполняют все подготовительные операции, необходимые до центрифугирования. Вначале готовят арматурный каркас. Для этого мерные арматурные элементы продольной напрягаемой арматуры (стержни, проволока, канаты или пряди) фиксируют на ранее установленных оголовках формы. В продольной арматуре создают монтажное напряжение (~15% и более от проектного) и на нее навивают спиральную арматуру.

На роликовые опоры стенда (их число соответствует количеству опорных – беговых бандажей – дорожек формы в сборе) краном подают нижнюю полуформу. После заведения под арматурный каркас в эту полуформу подают (распределяют) бетонную смесь из бетонораздатчика (№ 1).

Краном подают верхнюю полуформу и сбалчивают с нижней. После сборки формы продольную арматуру напрягают на расчетное усилие (удлинение) и передают напряжение на форму.

Подготовленную форму краном подают и устанавливают на роликовую центрифугу (№ 3). Распределяют бетон (на 100 ± 20 об/мин в течение 4...5 мин) и уплотняют (на 450...600 об/мин в течение 15...18 мин).

При съеме краном формы с изделием сливают шлам и подают ее в камеру тепловой обработки (№ 5).

В рассматриваемом варианте – это ямные пропарочные камеры. Практикуется использование индукционных электромагнитных камер для тепловой обработки данного типа изделий. Во всех случаях с целью обеспечения их долговечности и эксплуатационной надежности тепловую обработку следует осуществлять по мягким (несмотря на наличие замкнутых форм) режимам с температурой прогрева не более $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при рекомендуемой – не более $40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Прошедшее тепловую обработку изделие в форме краном подают на пост распалубки (№ 4), где мягко передают усилие преднапряжения с формы на бетон (с помощью гидродомкрата или винтовых упоров). Форму разбалчивают, разбирают и готовят к новому обороту. Изделие (из нижней полуформы его высвобождают кантованием на 180°) подают краном и специальной траверсой – захватом на пост выдержки, доводки (очистки вкладышей, заделки торцов и др.), ремонта (при необходимости), приемки ОТК.

Специализированные технологические линии изготовления *железобетонных преднапряженных плит пустотного настила* получили широкое распространение из-за массовой потребности в этих эффективных элементах перекрытий зданий различного назначения. Как следствие, их производство реализуется на разнообразных, различающихся по вариантам используемой бортоснастки, оборудования, уровня технической оснащенности и сортамента напрягаемой арматуры технологическим линиям. В частности, в промышленном производстве эксплуатируются линии при изготовлении изделий в формах с открывающимися бортами; на поддонах со съемной рамной бортоснасткой, либо при обустройстве формовочного поста откидными бортами и пригрузом; со сдвигающимися продольными бортами, конструктивно устроенными на формовочной машине (установке с пустотообразователями); с обустройством формовочной машины вибровкладышами и пр. Кроме отмеченного, при массовом использовании преднапрягаемой стержневой арматуры и электротермического способа ее натяжения, действуют линии с армированием изделий высокопрочной проволокой, при навивке ее на штыри-упоры поддонов механическим (электромеханическим) способом на специальных устройствах.

Учитывая это разнообразие рассмотрим технологию изготовления плит пустотного настила на примере высокомеханизированной линии, вариант компоновки которой (для изготовления плит длиной 6м и 9м) представлен на рис. 33.

Технологический цикл изготовления изделий начинается выемкой поддона с изделием, прошедшим тепловую обработку (№ 9), и подачу его краном на пост распалубки. После обрезки напрягаемой арматуры и передачи усилия на бетон изделие краном подается на пост выдержки (доводки, ремонта) и приемки ОТК.

Поддон чистят, смазывают и по рольгангу перемещают на пост армирования (№ 7). При необходимости (большом количестве напрягаемых стержней для плит повышенной несущей способности) начало армирования преднапрягаемой арматурой осуществляется на посту № 8.

На посту армирования (№ 7) укладывают (или завершают этот процесс) разогретые на установке № 7' стержни напрягаемой арматуры. Сюда из про-

межуточного положения (позиция № 6) смещается портал самоходный (№ 6) и на поддон устанавливают и фиксируют бортоснастку.

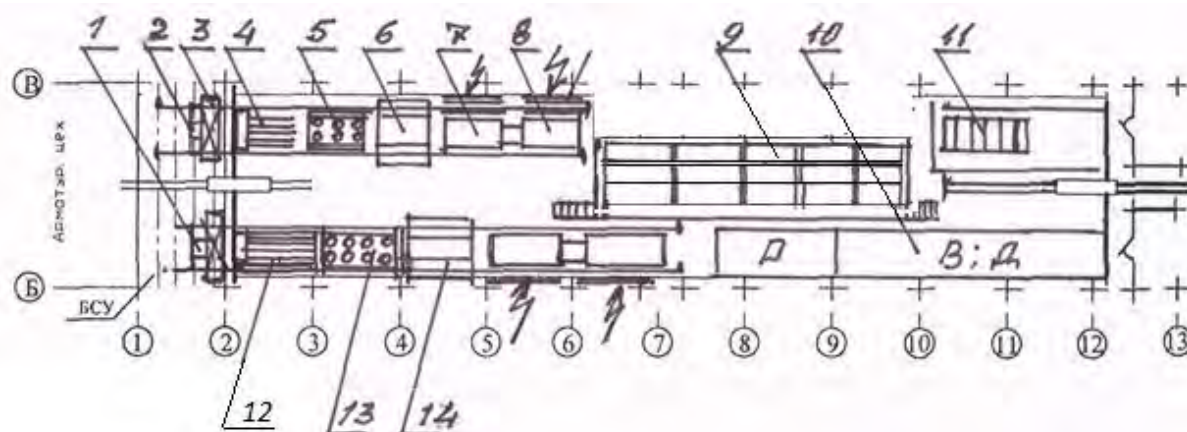


Рис. 33. Схема компоновки технологической линии для изготовления плит пустотного настила:

1 – линия изготовления 9-метровых плит; 2 – линия изготовления 6-метровых плит; 3 – бетонораздатчик; 4 – формовочная машина (формообразующие пуансоны-вибровкладыши (со встроенными вибраторами, или без них (тогда вибраторы зафиксированы на пуансонах внешне); 5 – пост формирования с виброплощадкой; 6 – портал самоходный (с бортоснасткой и вибропригрузом); 7 – пост армирования – сборки формы; 7' – установка для нагрева арматуры на посту армирования; 8 – пост распалубки, подготовки, армирования поддонов; 8' – установка для нагрева арматуры на посту подготовки; 9 – камеры ТО; 10 – пост выдержки плит; 11 – пост и установка для испытаний плит; 12 – формующая машина с боковыми формообразующими (сдвигаемыми) бортами "формы"; 13 – пост формирования с откидными торцевыми формообразующими бортами; 14 – портал самоходный с вибропригрузом.

Собранная форма порталом самоходным (№ 6) переносится на пост формирования (№ 5) и портал смещается в исходное положение (№ 6).

Бетонораздатчиком (№ 3) подают первый (подстилающий) слой бетона и в рабочее положение на формовочном посту перемещается формовочная машина (№ 4). Перед подачей второго слоя бетона в изделие закладывают ненапрягаемую арматуру, закладные детали и виброуплотняют первый слой бетона (виброплощадкой № 5).

Подают (преимущественно с одновременным вибрированием) основной слой бетона, распределяют и уплотняют его с помощью виброплощадки и вибровкладышей (вибраторов на пуансонах формовочной машины).

Перемещают портал самоходный к формовочному посту и окончательно уплотняют бетон виброплощадкой и вибропригрузом портала.

Извлекают пустотообразователи перемещая формовочную машину из рабочего в исходное (№ 4) положение. Поднимают пригруз, снимают (вертикальным подъемом) бортоснастку и перемещают портал в исходное положение (№ 6).

Устанавливают монтажные петли (или извлекают формообразующие вкладыши петель), заглаживают поверхность, очищают кромки поддона и т.п.

Свежеотформованное изделие на поддоне краном подают в камеру тепловой обработки, а очередной поддон с прошедшим ТО изделием подают на пост распалубки и технологический цикл начинается заново.

Следует отметить, что при надлежащей организации производства изделий длиной до 6 м, такая линия обеспечивает ритм потока в 12 мин и характеризуется высокой производительностью.

Отличие технологии работ при формировании 9-метровых плит пустотного настила от приведенной связано с особенностью и отличиями формовочного оборудования (№ 12 - № 14). В частности, в этом комплекте на портале самоходном есть вибропригруз, но нет съемной (рамной) бортоснастки, так как боковые стороны изделий (включая создание паза шпонки) профилируются сдвигаемыми бортами, жестко закрепленными на формовочной машине. Торцевые (поворотные) борта, являются конструкционной частью формовочного поста (№ 5) и, по мере необходимости, занимают рабочее (вертикальное) положение (исходное – в низу, не препятствуя работе остальных механизмов). С учетом большего, чем на 6-метровых изделиях, объема работ такая линия обеспечивает ритм потока в 15 мин и высокую производительность.

2.4 Смешанные способы производства.

Технологический процесс изготовления бетонных и железобетонных изделий на линиях со смешанным способом производства характеризуется наличием атрибутов стандового, конвейерного и агрегатно-поточного способов в их различном сочетании.

По существу в предыдущих разделах были примеры такого сочетания разных способов: конвейерного и агрегатно-поточного (двухветвевой конвейер с пропарочными ямными камерами, рис. 19); конвейерного и стандового при изготовлении сантехкабин (рис. 22); станд подготовки к формированию опор ЛЭП и последующее производство агрегатно-поточным способом (рис. 32); агрегатно-поточное производство плит пустотного настила с конвейерной связью между постами распалубки (подготовки) и армирования (рис. 33).

На рис. 34-36 представлены варианты компоновочных решений действующих кассетно-конвейерных технологических линий, совмещающих стандовый и конвейерный способы производства, и подтвердивших эффективность в производственных условиях. Необходимо отметить, что эти проектные решения представляют собой 3-4-ое «поколение» таких разработок, т.к. первые (с подвижными щитами; наклонными щитами и т.д.) не подтвердили свою эффективность в производственных условиях эксплуатации.

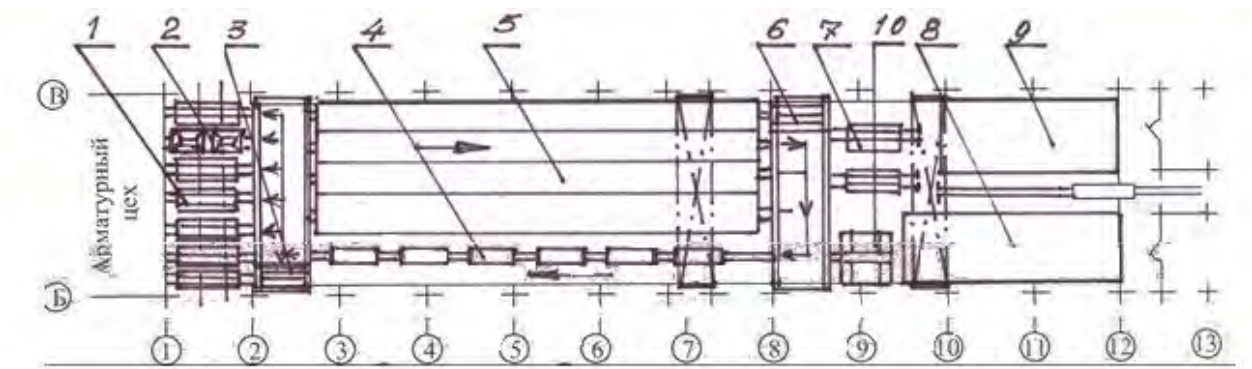


Рис. 34. Схема компоновки кассетно-конвейерной линии с продольным расположением камер 2-ой стадии тепловой обработки:

1 – посты формования 2-х изделий и первой стадии тепловой обработки; 2 - бетонораздатчик; 3 – передаточный мост №1; 4 – конвейер подготовки подвижных щитов; 5 – проходные туннельные камеры 2-й стадии тепловой обработки; 6 – передаточный мост №2; 7 – посты переоснастки подвижных щитов; 8 – участок (линия) ремонта, начинки, доводки (отделки) изделий; 9 – пост выдержки; 10 – кантователь.

На рис. 34 представлено компоновочное решение кассетно-конвейерной линии с продольным расположением камер 2-ой стадии тепловой обработки.

Особенностью данной технологической линии (а также представленной далее на рис. 35) является одновременное формование 2-х изделий (панелей сплошного сечения внутренних стен (перегородок) и плит перекрытий) на формовочных постах (№ 1) и их последующая кратковременная тепловая обработка (1-я стадия) на этих же постах, т.е., по стандовой технологии. А 2-я стадия тепловой обработки и подготовка подвижной части форм (включая их подготовку, армирование, начинку комплектующими скрытой электропроводки и пр.) осуществляется в проходных туннельных камерах (№ 5) и на конвейерной линии подготовки (№ 5) соответственно.

Преимуществом такого варианта изготовления указанных изделий перед кассетным (стандовым) способом является возможность снижения расхода цемента, так как при формовании в кассетах используют бетонные смеси высокой подвижности (марок ПЗ-П4), а в данном случае – марки П2. Кроме этого при формовании 2-х изделий с меньшими энергозатратами на виброуплотнение (возрастает интенсивность вибровоздействия) обеспечивается более высокое качество поверхности изделий. В целом эти линии обеспечивают высокую производительность и уровень съема продукции с единицы производственной площади. Одновременно их реализация требует значительных капитальных затрат.

Технологический процесс на линии рис. 34 осуществляется следующим образом. Прошедшие 2-ю стадию тепловой обработки изделия на подвижной части формы (вагонетки) с помощью передаточного моста (№ 6) поступают на пост распалубки конвейера (№ 4). Изделия краном снимают и перемещают на пост выдержки (доводки, ремонта и контроля ОТК) (№ 8 и № 9).

Подвижную часть формы (подвижный щит) на постах конвейера (№ 4) готовят к формованию, выполняя требуемый в конкретном случае набор технологических операций, и с помощью передаточного моста (№ 3) подают на свободный формовочный пост (№ 1). Осуществляют сборку поста - стенда, сдвигая внешние щиты, которые в сборе с внутренней (подвижной) частью образуют форму на 2 изделия. Бетонораздатчиком (№ 2) подают бетонную смесь и послойно, при равномерном распределении бетона по оси формируемых изделий, заполняют отсеки с одновременным виброуплотнением бетона. После кратковременной (~ 0,5ч) выдержки осуществляют 1-ю стадию тепловой обработки при двустороннем подводе тепла. Рекомендуемая температура прогрева ~ 50°С, продолжительность 1-ой стадии – 2...3ч, до приобретения бетоном прочности, достаточной для бездефектного отсоединения внешних щитов (не менее 5 МПа).

После отсоединения внешних щитов подвижная часть формы с изделиями посредством передаточного моста (№ 3) поступает в камеру второй стадии тепловой обработки (№ 5) для приобретения бетоном расчетной (распалубочной, отпускной) прочности. По окончании этой стадии тепловой обработки подвижная часть формы (подвижный щит) поступает на передаточный мост (№ 6) и технологический процесс начинается заново.

Переналадка подвижной части формы (щита) под выпуск разных видов изделий при необходимости осуществляется на специализированных постах (№ 7); доводка поверхности (ремонт) изделий (при необходимости) осуществляется на посту – кантователе (№ 10).

Кассетно-конвейерная линия с поперечным расположением камер 2-ой ступени тепловой обработки изделий представлена на рис. 35.

Формование (2 изделия одновременно) и 1-я стадия тепловой обработки на данной технологической линии идентичны рассмотренным в предыдущем разделе. Основными отличиями проектного решения по схеме рис. 35 являются следующие. Во-первых, поперечное расположение камеры 2-ой стадии тепловой обработки изделий и соответствующее перемещение подвижных частей форм (подвижных щитов), что позволяет сократить производственные площади, занимаемые линиями равной производительности. Во-вторых, выполнение операций съема изделий и подготовки подвижных частей форм (щитов) к формованию выполняются на специализированных постах стендового типа (№ 6).

Отличия организации технологического цикла изготовления изделий в том, что после 2-ой стадии тепловой обработки подвижная часть формы (подвижный щит) с помощью передаточного моста (№ 5) поступает на свободный пост подготовки (№ 6), а по окончании подготовки этим же мостом через передаточное устройство конвейерного типа (№ 10) перемещается на передаточный мост (№ 3), которым передается на свободный формовочный

пост (№ 2). В остальном порядок работ на технологических линиях рис. 34 и рис. 35 одинаков.

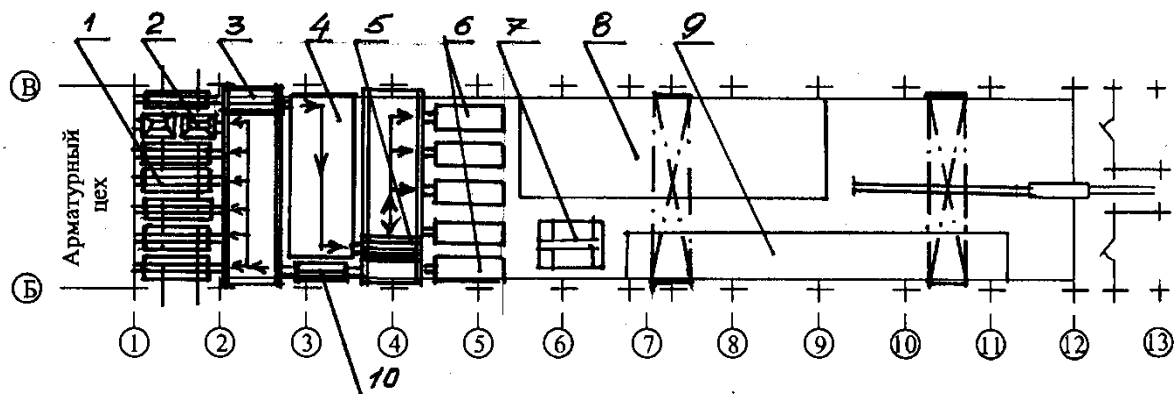


Рис. 35. Схема компоновки кассетно-конвейерной линии с поперечным расположением камер 2-ой ступени тепловой обработки :

1 – посты формирования 2-х изделий; 2 – бетонораздатчик; 3 - передаточный мост №1; 4 – камера ТО-2 с поперечным перемещением подвижных щитов с 2-я изделиями; 5 - передаточный мост №2; 6 – посты распалубки, подготовки, армирования; 7 – кантователь; 8, 9 – посты (линии) доводки-выдержки изделий; 10 – передаточное устройство (пост подготовки (при необходимости)).

Следует отметить, что в более поздних проектных решениях (с целью увеличения продолжительности 2-ой стадии тепловой обработки и повышения уровня отпускной (до 90...100%) прочности бетона в изделиях) предусмотрены две пропарочные камеры (№ 4), при поочередной подаче прошедших 1-ю ступень тепловой обработки изделий в каждую из них.

Многоотсечная кассетно-конвейерная линия для изготовления изделий сплошного сечения (внутренние стены и перегородки; плиты перекрытий) представлена на рис. 36.

Технологический процесс изготовления изделий на данной кассетно-конвейерной линии включает последовательную распалубку изделий, путем отсоединения от общего массива кассеты (№ 3) ее элементов – в виде подвижных отдельных щитов (с паровыми рубашками – внутренней полости щита), перемещения последних передаточным мостом (№ 6) на поворотное устройство (№ 5) и, далее, на конвейер (№ 4). Здесь щиты проходят стадию подготовительных операций (чистку-смазку, армирование и т.д.) к формованию. Затем через поворотное устройство (№ 5) и передаточный мост (№ 2) поступают к кассете (№ 3) с противоположной стороны.

После сборки кассеты в целом ее бетонируют, уплотняя бетон с помощью навесных вибраторов, а также с целью повышения качества поверхности и физико-механических характеристик бетона (особенно составов с уменьшением расхода цемента) с помощью подвесных пакетов глубинных вибраторов

(из расчета - на один отсек), с виброуплотнением при послойной укладке бетона и на всю высоту отсека.

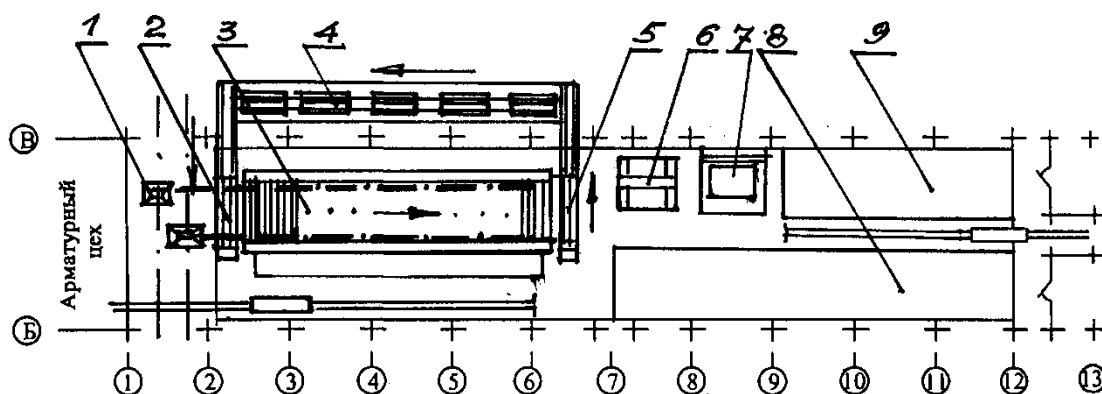


Рис. 36. Схема компоновки многоотсечной (≥ 40 отсеков) кассетно-конвейерной линии:

1 — линия подачи бетона; 2 - передаточный мост №1; 3 — многоотсечная кассета в собранном виде; 4 — конвейер подготовки отдельных отсеков; 5 — поворотное устройство; 6 - передаточный мост №2; 7 — кантователь; 8 — машина для отделки (шпатлевания) изделий; 9 — вспомогательные площадки; 10 — пост выдержки, ремонта, доводки изделий.

По окончании бетонирования осуществляют тепловую обработку кассеты (количество одновременно изготавливаемых изделий ≥ 40 шт) и технологический процесс начинается заново.

Другие варианты проектных решений многоотсечных кассетно-конвейерных линий по иному проектировали поворотный путь выхода отсеков из кассеты и на входе их при сборке кассеты. В частности, в виде полукольцевого рельсового пути по радиусу, обеспечивающему выход отсеков на конвейер по их продольной оси; кроме этого, в варианте поперечного движения отсеков на конвейере (без поворотных устройств). В обоих случаях конвейер подготовки отсеков выносился за ось колонн цеха (в соседний пролет).

Технологическая линия (рис. 36) действовала в Беларуси на одном из предприятий по производству сборного железобетона в г. Н-Полоцке. При полной загрузке и одном обороте за сутки линия обеспечивает высокую производительность и уровень съема продукции с единицы производственной площади. Одновременно уникальность такого проектного решения, начальные и эксплуатационные затраты предполагают полную и устойчивую загрузку линии изделиями постоянной номенклатуры и в больших объемах. При изменяющейся номенклатуре и малых партиях изготавливаемых изделий такие линии не рентабельны.

3 ДОСТАВКА, ХРАНЕНИЕ И ПОДГОТОВКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕТОНА.

3.1 Цемент и минеральные добавки.

Доставка и разгрузка цемента имеет свои особенности, связанные с видом транспорта и типами транспортных средств. При доставке по железной дороге используются в основном специализированные вагоны типа «хopper». Принципиально возможна доставка цемента в «цистернах-цементовозах» и ограниченно (при наличии соответствующего оборудования) – в вагонах. Все эти виды железнодорожного подвижного состава базируются (в основном) на четырехосных платформах и характеризуются номинальной грузоподъемностью 60т, при длине платформы (в сцепке) ~ 14,5 м, что необходимо учитывать при проектировании длины разгрузочных путей и параметров грузооборота предприятий.

Для разгрузки «подача» (сцепка вагонов в расчетном (или фактическом) количестве) маневровым локомотивом подается на разгрузочный путь. Последующее их перемещение и выставка над приемным устройством осуществляется с помощью тяговых лебедок или приводных толкателей (обычно для подач из 5 и менее вагонов (платформ)). На рис. 37 и рис. 38 показаны, соответственно, варианты разгрузки цемента из специализированных вагонов бункерного типа «хopper» (самотеком) и из крытого вагона (пневморазгрузчиком всасывающего типа).

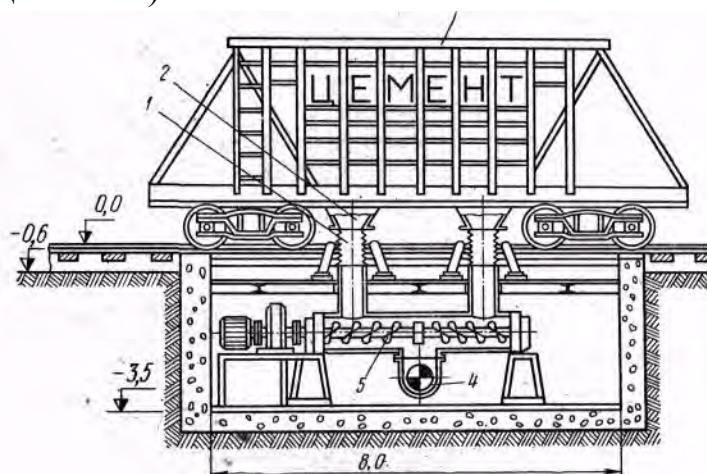


Рис. 37. Железнодорожный вагон бункерного типа (хopper) при разгрузке:

1 – эластичный приемный рукав; 2 – разгрузочный люк; 3 – саморазгружающийся вагон; 4 – поперечный винтовой транспортер для подачи цемента к винтовому или камерному насосу; 5 – приемный двусторонний винтовой транспортер

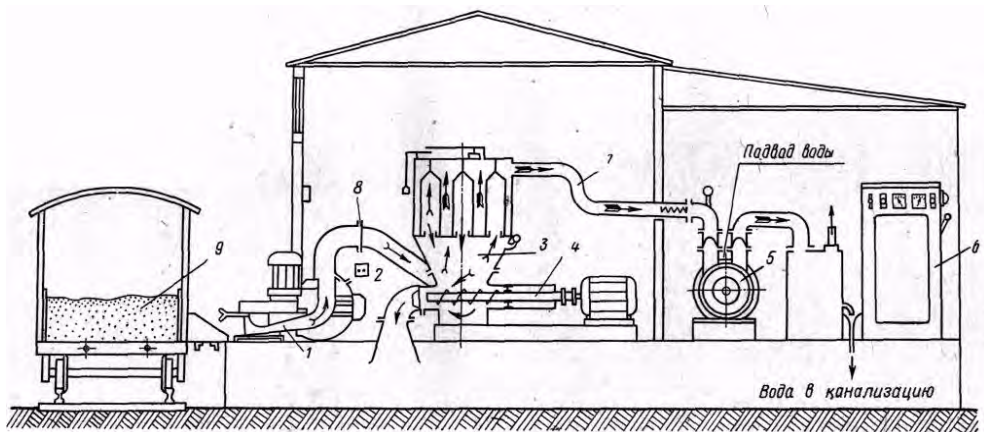


Рис. 38. Разгрузка из вагонов разгрузчиком цемента С-577 всасывающего типа (за счет разрежения):

1 – заборное устройство; 2 – переносный пульт управления; 3 – осадительная камера; 4 – напорный (разгрузочный) винт; 5 – вакуум-установка; 6 – шкаф с электрооборудованием; 7 – резино-тканевый рукав (воздуховод); 8 – цементовод; 9 – железнодорожный вагон с цементом.

Разгрузка из железнодорожных цистерн-цементовозов осуществляется по аналогии с далее изложенной технологией разгрузки автомобильных цементовозов.

Автомобильный транспорт цемента осуществляется специализированными автоцементовозами, оснащенными герметизированными емкостями, компрессорами, системой разводки и подачи в емкость(ти) сжатого воздуха, устройствами для подсоединения инвентарных гибких шлангов транспорта цемента к трубопроводам бетонно-смесительных узлов (установок) и пр. (рис. 39). При разгрузке цемента обеспечивают пневмо подачу цемента на высоту до 20...30м.

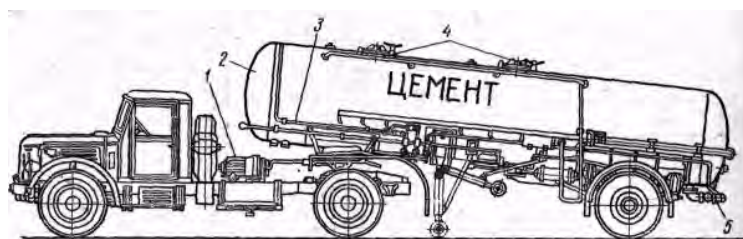


Рис. 39. Автоцементовоз:

1 – компрессор; 2 – цистерна; 3 – воздуховод; 4 – загрузочные люки; 5 – разгрузочные люки.

Технологические особенности разгрузки авто-, железнодорожных цистерн одинаковы: в придонной части цемент (за счет разводки подачи сжатого воздуха) насыщается воздухом до образования взвеси с направлением движения к разгрузочному люку (шлангу забора – подачи в расходные емкости БСУ). В верхней зоне одновременно создается давление воздуха на по-

верхность цемента, что в совокупности обеспечивает условия его истекания по подобию своеобразной пульпы.

Время разгрузки специализированных вагонов «хopper» и железнодорожных цистерн ~ 1,0 час, а автоцистерн ~ 0,25...0,5 часа при производительности соответствующего оборудования ≥ 90 т/час и более.

Цемент хранят в емкостях – силосах (металлических или железобетонных), количество которых (традиционно от 4 до 6 (иногда – более)) связано с производительностью предприятия и номенклатурой выпускаемой продукции. То есть, с потребностью в разнообразных видах (марках, классах) вяжущего (рис. 40).

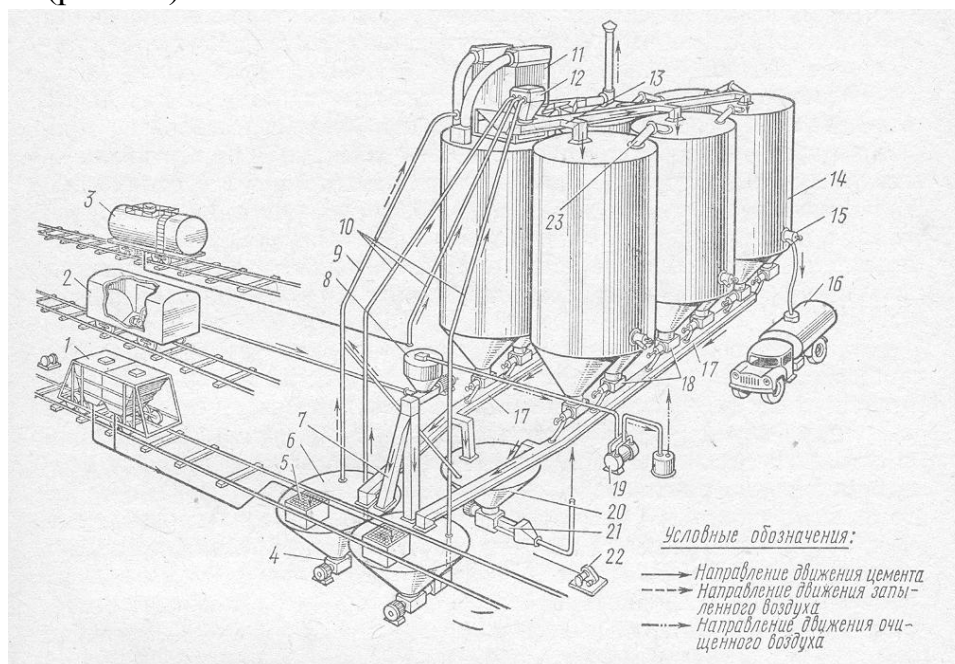


Рис. 40. Технологическая схема автоматизированного прирельсового склада цемента емкостью 1700/1100 т (типовой проект 409-29-21/73):

1 – вагон-цементовоз бункерного типа; 2 – крытый вагон; 3 – цементовоз; 4 – пневмоподъемник С-1041; 8 – рукав приемный; 6 – бункер приемный; 7 – тетка двухрукавная; 8 – пневморазгрузчик цемента (С-039); 9 – трубопровод запыленного воздуха; 10 – цементопроводы; 11 – бункер-осадитель; 12 – фильтр рукавный; 13 – аэрожелоб надсилосный; 14 – силосы; 15 – пневморазгрузитель боковой выгрузки; 16 – автоцементовоз; 17 – аэрожелоба подсилосные; 18 – пневморазгрузитель донной выгрузки; 19 – вакуумная установка пневморазгрузчика; 20 – бункер выдачи вяжущего; 21 – насос пневмовинтовой (С-99); 22 – лебедка маневровая; 23 – труба соединительная

Согласно действующим нормативам (ОНТП-07-85) запасы цемента для бесперебойной работы предприятия (одновременно – расчетная емкость склада) соответствуют: 7...10 сут, если доставка осуществляется железнодорожным транспортом, и 5...7 сут, при доставке автотранспортом. Цемент хранят отдельно по видам и маркам (классам); при смешивании цемента разных видов (марок, классов) и необходимости использования, его применяют по характеристикам менее качественного вида (марки, класса). Для усреднения качества вяжущего в этом случае, а также с целью предотвраще-

ния слеживания на складах типа рис. 40 (укомплектованных соответствующим оборудованием) возможна реализация приема перекачивания цемента из одного силоса в иной силос.

Для работы с цементом сжатый воздух необходимо осушивать (т.е. удалять влагу), для чего его пропускают вначале через маслоулавливающие фильтры, а затем через специальные фильтры (силикогелевые и иные). Особенно это относится к хранению цемента в емкостях, уклон донной части которых незначителен (рис. 41).

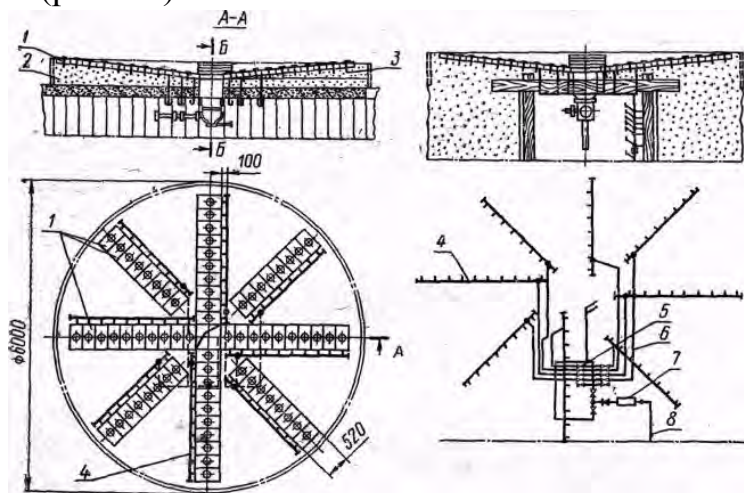


Рис. 41. Аэрированное днище цементного силоса:

1 – воздухораспределительные короба; 2 – днище силоса; 3 – анкер; 4 – коллектор; 5 – вентиль; 6 – воздухораспределитель; 7 – электровоздушные клапаны; 8 – центральная воздушная магистраль

В этом случае днище обустривается системой грибковых электровоздушных клапанов для подачи сжатого воздуха в придонный объем вяжущего, что предупреждает его слеживание и обеспечивает нормальные условия забора из емкостей и подачи цемента в расходные бункеры БСУ.

Внутризаводской транспорт цемента.

Для подачи цемента от склада к БСУ (преимущественно в расходные бункеры, в ряде вариантов – в надбункерное отделение БСУ с механическим (шнековые питатели) распределением по расходным бункерам) используют *пневмотранспорт*. Системы пневмотранспортирования цемента включают насосы (подъемники); транспортные трубопроводы ($\text{Ø } 100 \dots 200 \text{ мм}$); циклоны – осадители; фильтры очистки, а также компрессорные станции и оснащение для контроля за процессом. При этом используют: винтовые пневматические насосы с дальностью подачи по горизонтали до 200м; и по вертикали до 30м, производительностью $\sim 150 \text{ т/час}$ (рис. 42), а также, 2-ух камерные пневматические насосы с дальностью подачи до 200м, по высоте до 30м, производительностью до 100т/час при рабочем давлении воздуха 0,6...0,7 Мпа (рис. 43)

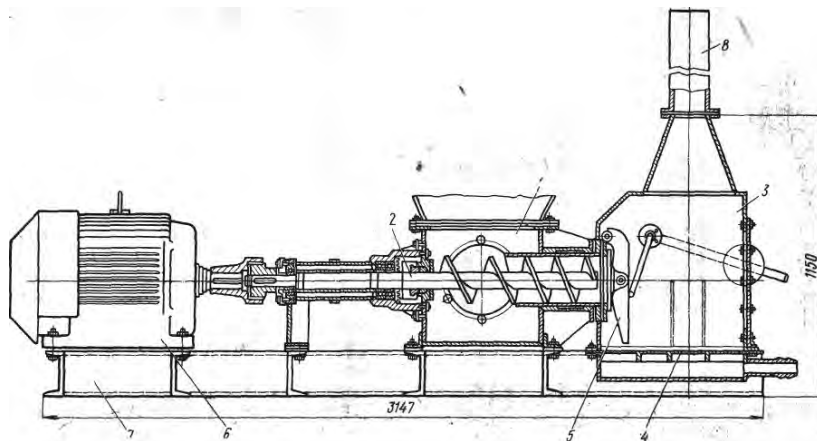


Рис. 42. Аэрационно-пневматический подъемник цемента (винтовой насос):

1 – приемная камера; 2 – быстроходный винт; 3 - смесительная камера; 4 – пористая перегородка; 5 – обратный клапан; 6 – электродвигатель; 7 – рама; 8 –цементовод

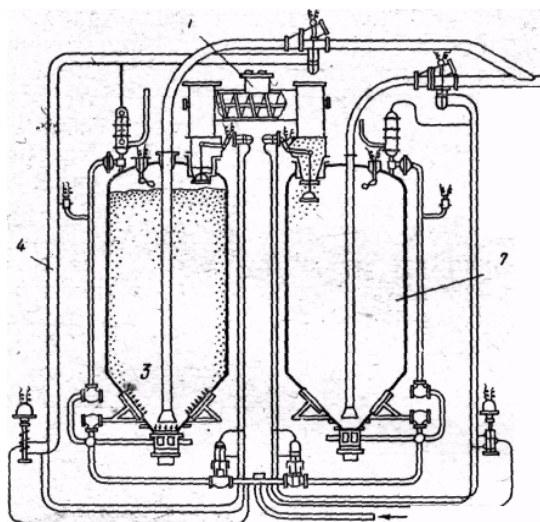


Рис. 43. Двухкамерный пневматический насос:

1 – питающий шнек; 2 – резервуар; 3 – аэрированные участки днища; 4 – трубопровод сжатого воздуха

Кроме этого при оснащении склада цемента для приема вяжущего из крытых вагонов используют пневмовсасывающие насосы с дальностью подачи до 200м, при высоте до 30м и производительности до 100 т/час .

Для горизонтальной подачи к силосам используют аэрожелоба (рис. 44), либо – шнековые питатели. В отдельных случаях для вертикальной подачи используют многоковшовые элеваторы при высоте подачи до 35м; производительности до 85 т/ч.

Горизонтальная (наклонная) подача к расходным бункерам, а в ряде случаев и из них к дозаторам, осуществляется с помощью шнековых питателей с производительностью до 85т/ч.

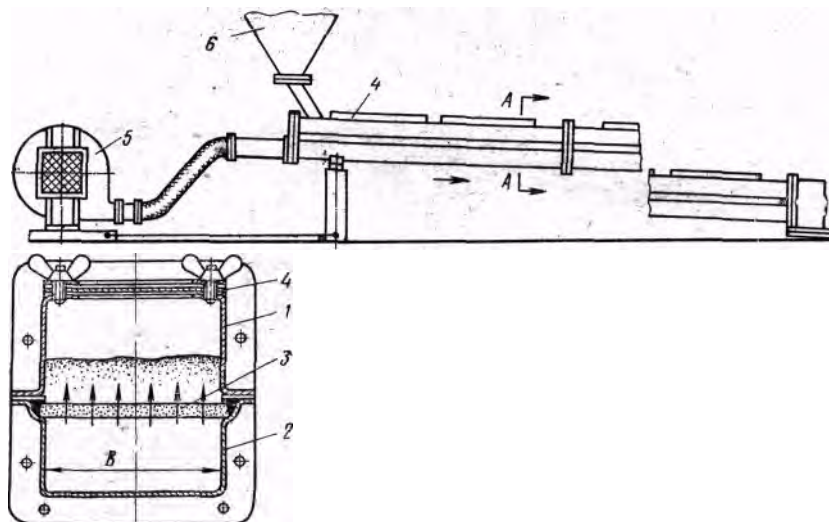


Рис. 44. Пневматический аэрожелоб:

1 – верхнее корыто; 2 – нижнее корыто; 3 – пористая перегородка; 4 – матерчатый фильтр; 5 – вентилятор; 6 – входной патрубок.

Минеральные добавки, которые вводят в бетон отдельно (микрокремнезем, доменные шлаки, золы-уноса и др.) и характеризующиеся высокой дисперсностью (микрокремнезем, зола-унос), либо предварительно измельченные до удельной поверхности: $S_{уд} \geq 0,3 \text{ м}^2/\text{г}$, разгружают, хранят и подают к БСУ по общей схеме работы с цементом. Во избежание ошибок при раздельном введении цемента и минеральных добавок тракты подачи последних, емкости их хранения и пр. должны обозначаться дополнительной маркировкой (окраской).

3.1.1 Дополнительная обработка, принципы выбора (назначения) вяжущего.

Дополнительная обработка вяжущих на предприятиях по производству бетона и железобетона в современных условиях хозяйствования практически не применяется. Вместе с тем нельзя исключить полностью производственную необходимость ее реализации по следующим основным направлениям.

Усреднение качества цемента – вынужденная мера обработки в случае смешивания разных видов (марок, классов) вяжущего. Кроме необходимости использования смешанного вяжущего по характеристикам и области применения худшего вида, целесообразна организация неоднократного перекачивания смешанного вяжущего из одной в другую емкость хранения до применения в бетоне.

Домол цемента осуществляют с целью восстановления активности лежащих вяжущих, т.е. после длительного хранения и появления признаков сле-

живания (комковатость, увеличение насыпной плотности, снижение удельной поверхности). Интенсивное механическое воздействие (в шаровых, ударных) мельницах способствует дезагрегации сформировавшихся флоккул цемента, вскрытию за этот счет и при дроблении крупных зерен новых реакционно способных поверхностей вяжущего, восстанавливая его активность.

В этом случае эффективен совместный помол лежалого цемента с песком. Зерна песка выступают в роли дополнительных мелющих тел (его твердость выше, чем у клинкера цемента), способствуя интенсивному измельчению клинкерной части вяжущего. На этом эффекте основывается производство (путем совместного помола) песчанистого цемента, а также «вяжущего низкой водопотребности» (ВНВ), в которое (кроме песка) вводят пластифицирующие добавки 1-ой группы.

Следует учитывать, что чрезмерное измельчение клинкерной части цемента (сверх $\leq 3300\text{см}^2/\text{г}$ ($0,33\text{м}^2/\text{г}$) по прибору типа «ПСХ») сопровождается снижением содержания в вяжущем его крупных фракций. По действующим нормативам в цементе допускается до 15% от массы зерен крупнее 80 мкм определяемое по ситы № 008. Наличие крупных фракций в вяжущем безусловно необходимо для обеспечения долговременной эксплуатационной надежности железобетонных конструкций, сохранности в них арматуры. Такие фракции способны длительный период поддерживать гидратационный процесс в бетоне, обеспечивая поддержание щелочности на уровне $\text{pH} \geq 11,8$ ед., что является (на ряду с непроницаемостью защитного слоя бетона) необходимым условием предотвращения коррозии стальной арматуры.

Приготовление цветных цементов путем совместного помола с красителями; либо обработкой общей массы с порошкообразными красителями при высокоинтенсивном (высокоскоростном) смешивании. Аналогично возможно дополнительное введение в цемент минеральных добавок (при необходимости целенаправленного использования такого вяжущего).

Принципы выбора цемента заключаются в учете свойств вяжущего во взаимосвязи со свойствами бетона, для которого осуществляется выбор: прочности, эксплуатационных свойств, коррозионно-, жаростойкости и т.д.

Исходя из требований к бетону по прочности в общем случае оценивается соотношение между активностью цемента (при отсутствии данных – марки (класса) по прочности на сжатие) и планируемой прочностью бетона в проектном (28 сут) возрасте. Однозначной зависимости между этими характеристиками, выраженной строгой математической формулой, не существует, т.к. на показатель прочности бетона (на одном и том же вяжущем) оказывает влияние множество факторов (водоцементное отношение, вид и качество заполнителей, наличие и вид химических добавок, качество дозирования и приготовления смеси, условия формования и твердения и др.). Вместе с тем имеется тенденция их взаимосвязи, заключающаяся в прямой зависимости

прочности бетона от величины активности (марки, класса) цемента при соблюдении правила «прочих равных условий», то есть ориентиром при выборе (назначении) марки (класса) цемента в проектируемом составе бетона заданной прочности служит установленное практикой соотношение между ними, соответствующее: $f_{cm,ц} / f_{cm,б} \sim 1,2 \dots 1,5$, для пластичных бетонных смесей и $f_{cm,ц} / f_{cm,б} \sim 0,7 \dots 1,1$ для жестких бетонных смесей при интенсивном уплотнении бетона при формовании. В случае использования высококачественных пластифицирующих добавок 1-ой группы и значительного снижения при этом начального водосодержания бетона (особенно при введении в состав активного микрокремнезема) данное соотношение может составить $\sim 0,5 \dots 0,7$ и даже менее (в частности, для специфичных составов бетона прочностью на сжатие ≥ 100 МПа).

Выбор цемента с учетом *эксплуатационных требований* к бетону, в частности, при наличии ограничений в величине водопоглощения, повышенных характеристик по водо-, воздухонепроницаемости, морозостойкости, устойчивости при переменном насыщении – высушивании, необходимо учитывать, что эти свойства, в первую очередь, связаны со структурным строением цементного камня и бетона в целом. В частности, с объемом и состоянием (размерами сечений) открытой капиллярной, сообщающейся пористости. С целью ее уменьшения следует использовать портландцементы без минеральных добавок (исключение составляют содержащие активный (микрокремнезем) при ограничении содержания (менее 8% в цементе, а для обеспечения высокой морозостойкости в солевой среде эксплуатации $\leq 5\%$) трехкальциевого алюмината ($3CaO \cdot Al_2O_3$)).

Приведенные правила корректируются с учетом конкретных условий эксплуатации бетона. Например для бетона подводных (подземных) частей зданий и сооружений, не подверженных циклическим воздействиям (насыщение – высушивание; замораживание – оттаивание) с целью повышения водонепроницаемости целесообразно введение «набухающих» минеральных добавок (например, (5...10)% от массы цемента бентонитовой глины). Увеличиваясь в объеме при контакте с водой такая добавка кольматирует поры бетона, придавая ему высокую степень непроницаемости.

При выборе вяжущего следует учитывать возможную агрессивность и вид агрессии эксплуатационной среды.

Сульфатная коррозия или 3-ий вид коррозии (по классификации В.М. Москвина) с образованием гидросульфо алюмината кальция (эtringита) в форме кристаллогидратов - $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31-32H_2O$, а также иных, но с объемом образующихся веществ в 1,6...2,86 большим объема вступающих в реакцию. Сульфатная коррозия (особенно в условиях переменного насыщения – высушивания) наиболее опасна с позиций темпа развития процесса деградации бетона.

Рекомендуется в этом случае сульфатостойкий портландцемент ($C_3S \leq 50\%$; $C_3A \leq 5\%$; $C_3A + C_4AF \leq 22\%$), а также сульфатостойкий шлакопортландцемент и пуццолановый цемент, если нет ограничений к применению этих видов вяжущего. Наиболее эффективен для эксплуатации в условиях сульфатной агрессии глиноземистый цемент (в основном состоит из $CaO \cdot Al_2O_3$ (СА)). Однако его выпуск ограничен, этот цемент дорог и преимущественно используется в качестве жаростойкого вяжущего.

Коррозия 1-го вида, проявляющаяся в основном в выщелачивании - в растворении и выносе гидроксида кальция ($Ca(OH)_2$), возникает при воздействии на бетон пресных вод (особенно – под давлением). В этом случае рекомендуется цемент с активными минеральными добавками, содержащими аморфный кремнезем. Вступая в реакцию с гидроксидом кальция он образует кристаллогидраты: типа: $nCaO \cdot mSiO_2 \cdot pH_2O$, т.е. подобные продуктам гидратации минералов клинкера цемента: алита ($3CaO \cdot SiO_2$ или C_3S) и белита ($2CaO \cdot SiO_2$ или C_2S), нерастворимые в воде соединения.

Следует отметить, что одним из следствий развития коррозии 1-го вида является появление высолов на поверхности бетона (особенно по поверхностям с активным испарением влаги), что ухудшает внешний вид изделий.

Выбирая цемент с минеральными добавками или вводя последние на стадии приготовления бетона, необходимо учитывать не только положительные, но и иные, деструктивные эксплуатационные факторы. В частности, воздействие на бетон переменного увлажнения – высушивания, замораживания – оттаивания, солевую коррозию. Как следствие более целесообразно обходиться малым количеством, но высокоэффективной минеральной добавки, например, использовать микрокремнезем (с содержанием аморфного $SiO_2 > 85\%$) в дозировке ~ 5% от массы цемента. При этом лучшие результаты дает одновременное снижение начального водосодержания бетона (за счет использования качественных (1-ой группы) добавок платификаторов) и другие мероприятия, направленные на повышение плотности и непроницаемости бетона.

Коррозия 2-го вида, развивающаяся в результате обменных реакций продуктов гидратации цемента с магниевыми солями и углекислотой (в основном – H_2CO_3), присутствующими в грунтовой (или иной) воде. Образующиеся соединения либо растворимы и выносятся водой, либо аморфны и не обладают вяжущими свойствами и прочностью. Своеобразие этого вида коррозии в том, что при ее развитии проявляется и прогрессирует 1-ый вид.

Наиболее устойчив против воздействия 2-ого вида коррозии бетон на глиноземистом цементе. Во всех случаях требуются мероприятия, обеспечивающие максимальную плотность и непроницаемость бетона.

Для *кислотостойких* бетонов в качестве вяжущего используют растворимое калиевое или натриевое жидкое стекло ($K_2O \cdot nSiO_2$; $Na_2O \cdot nSiO_2$) в сочета-

нии с инициатором твердения – фтористым натрием (Na_2SiF_6). Такое вяжущее может иметь тонкодисперсный наполнитель в виде молотого кварцевого песка; заполнители должны быть из «кислых» пород: гранита, ангезита, базальта, кварцита, кварцевого песка и т.д.

Щелочестойкость бетона на портландцементе обеспечивается с применением заполнителей из карбонатных пород – известняка (CaCO_3), доломита ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), т.к. при воздействии концентрированных растворов щелочей на заполнители из «кислых» пород они вступают в реакции с увеличением объема ее продуктов и разрушают бетон.

Выбор вяжущего для жаростойких бетонов обусловлен температурой, при которой будет эксплуатироваться изделие(ия). В этой связи для разного уровня температурного воздействия на бетон рекомендуются следующие виды вяжущего (связующего):

- $t \leq 350^\circ\text{C}$ – портландцемент (в сочетании с заполнителями – керамзитом, аглопоритом, шлаками, кирпичным боем, известняком, андезитом, базальтом, диабазом);

- $t \leq 700^\circ\text{C}$ – портландцемент с тонкомолотыми минеральными добавками из доменного гранулированного шлака, керамзита, аглопорита и т.д.;

- $t \leq 1400^\circ\text{C}$ – жидкое (калиевое, натриевое) стекло с кремниземистым натрием и шамотным заполнителем;

- $t \leq 1400^\circ\text{C}$ – глиноземистый цемент (как уже отмечалось – не выделяет при гидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в сочетании с огнеупорными заполнителями (обожженный каолин, корунд, карборунд);

- $t \leq 1700^\circ\text{C}$ – высокоглиноземистый цемент в сочетании с огнеупорными заполнителями;

- $t \leq 1700^\circ\text{C}$ – периклазовый цемент (из спекшегося магнезита, MgO) с затворением раствором сернокислого магния;

- $t \leq 1800^\circ\text{C}$ и более – алюмофосфатная связка на основе электрокорунда, затворенного ортофосфатной кислотой.

Цемент с пониженной экзотермией используют, например, для товарного бетона, предназначенного для устройства (возведения) массивных монолитных конструкций различного назначения (фундаментных плит зданий и сооружений; технологических фундаментов значительных размеров; конструкций гидротехнического назначения; массивных опор мостовых переходов и т.п.). В объеме бетона массивов (за счет тепловыделения традиционного портландцемента) температура достигает $60 \dots 70^\circ\text{C}$, что создает угрозу появления трещин по контуру конструкций из-за значительного перепада температур между расширяющимся массивом и внешними слоями бетона. В особой мере это относится к зимним условиям ведения работ при пониженной температуре наружного воздуха.

В таком вяжущем понижение экзотермии обеспечивают нормализацией минералогического состава (снижением содержания C_3A и C_3S) и введением минеральных добавок (в цемент, либо на стадии приготовления бетона). Исключение составляют золы-уноса, характеризующиеся наличием CaO (MgO), выделяющим тепло при затворении водой (эффект гашения извести).

Бетон для массивных конструкций (сооружений) нельзя готовить на глиноземистом цементе, характеризующимся повышенным тепловыделением при гидратации.

Выбор цемента для преднапрягаемых изделий (конструкций), а также ненапрягаемых, перекрывающих пролеты, обусловлен необходимостью предотвращения коррозии стальной арматуры в долговременной перспективе их эксплуатации. Особенно, если эксплуатационная среда агрессивна по отношению к стали, а преднапряженная арматура – это канаты, пряди, пучки, проволока, т.е. выполнена на основе высокопрочной проволоки малых диаметров. Опасность заключается в том, что для разрушения преднапряженной арматуры (испытывает усилия от преднапряжения и воспринимает рабочие нагрузки) достаточно местной (язвенной) коррозии малого («точечного») объема. Местное уменьшение сечения в зоне коррозии может привести к разрушению арматурного элемента и спровоцировать обрушение конструкции.

В этой связи для бетона преднапрягаемых изделий (конструкций) в первую очередь рекомендуются бездобавочные (чистоклинкерные) цементы. Дополнительным условием обеспечения сохранности стальной арматуры в бетоне является наличие в цементе крупных фракций (до 80 мкм и более (допускается остаток до 15% при ситовом анализе по ситы № 008)), способных поддерживать гидратационный процесс и уровень щелочности ($pH \geq 11,8$ ед.) в период эксплуатации изделий (конструкций).

Кроме указанного, рекомендуются вяжущие с пониженной усадкой, т.к. проявление последней в сочетании с предельными рабочими нагрузками способно привести к трещинообразованию в защитных слоях бетона рабочей арматуры и росту его проницаемости для агрессивных по отношению к стали (арматуре) реагентов.

В этой связи не рекомендуются к использованию в бетоне для таких изделий переизмельченные цементы. В частности, песчанистый портландцемент ($S_{уд} \geq 3700 \text{ см}^2/\text{г}$ ($0,37 \text{ м}^2/\text{г}$); остаток на сите № 008 составляет 0...1% от массы навески цемента) и ему подобные.

Особую группу представляют: *безусадочные, расширяющиеся и напрягающие цементы*. Из их названий следует, что при твердении эти вяжущие не подвержены видам усадки. Механизм этого явления заключается в особенностях минералогического и вещественного составов каждого из них. В частности, в состав безусадочного включена негашеная известь (до 10% массы); в составе портландцемента расширяющегося кроме клинкера (60...65%) содер-

жится глиноземистый компонент (5...7%), повышенное количество гипса (7...10%) и 20...25% активной минеральной добавки. Гашение извести (безусадочный) и образование этрингита (расширяющийся) способствует устранению усадки цементного камня.

Напрягающий цемент в своём составе содержит портландцементный клинкер (65...70%), алюмосодержащий глиноземистый компонент (10...20%), гипс (8...15%) и известь (до 10%), в примерном соотношении: 65:20:10:5. От состава зависит степень самонапряжения при твердении в условиях ограничения деформаций (НЦ10...НЦ60, т.е. от 1,0 до 6,0 МПа). Особенностью объемного расширения (2...4%) твердеющий цементного камня является то, что она имеет место после достижения им прочности в 15...20 МПа. Благодаря этому цементный камень (бетон) в достаточной мере сцепляется с профилированной арматурой (всестороннее обжимает ее) и, при расширении, создает в ней преднапряжение. Для усиления эффекта (и по мере возможности) используют внешнее анкерение арматуры дополнительными, связанными с ней анкерами-упорами, на которые давит расширяющийся бетон.

Необходимо отметить, что эти виды вяжущего не нашли широкого применения в заводском производстве бетонных и железобетонных изделий. В большей степени они используются в строительном производстве. В частности, безусадочный цемент – в ремонтно-строительных работах; расширяющийся – при устройстве полов, монолитных перекрытий и в ремонтно-строительных работах.

Все шире в строительном производстве в Беларуси используют эффект самонапряжения бетона при устройстве сборно-монолитных перекрытий (стыки сборных преднапряженных элементов их конструкций; несущие монолитные балки – ригели несущего каркаса зданий и др.), а также ведут перспективные исследовательские и практические работы по созданию самонапряженных конструкций перекрытий (покрытий) зданий, дорожных и иных покрытий их самонапрягающегося бетона на основе напрягающего цемента.

3.2 Крупный и мелкий заполнители.

3.2.1 Доставка и разгрузка заполнителей.

Доставка заполнителей для бетона осуществляется железнодорожным транспортом: в вагонах типа хоппер, полувагонах, на платформах, преимущественно – 4-х осных, номинальной грузоподъемностью 60т. Доставка всех видов заполнителей с базовых мест хранения, а также местных материалов с мест добычи (например, песка) осуществляется автотранспортом (самосвальной техникой и бортовым транспортом). Кроме указанного, в ряде случаев (при добыче речного песка) по мере возможности используют речной транс-

порт, а также гидронамыв (например, песка для промежуточного складирования, либо непосредственно на склад предприятия).

Выгрузка заполнителей из закрытых вагонов «хopper» осуществляется самотеком. Для побуждения процесса выгрузки могут использоваться навесные вибраторы. опрокидные платформы (думпкары пневматические) выгружают опрокидыванием «на борт» с помощью пневмоподъемников, которыми оснащены эти платформы и которые подсоединяют к сети сжатого воздуха для выгрузки. Традиционные платформы разгружают с помощью сталкивающих разгрузочных машин (рис. 45), либо многоковшовых самоходных порталных разгрузчиков (рис. 46). С помощью последних разгружают полувагоны (гондолы), если не предусмотрен вариант их разгрузки через донные люки (рис. 47)

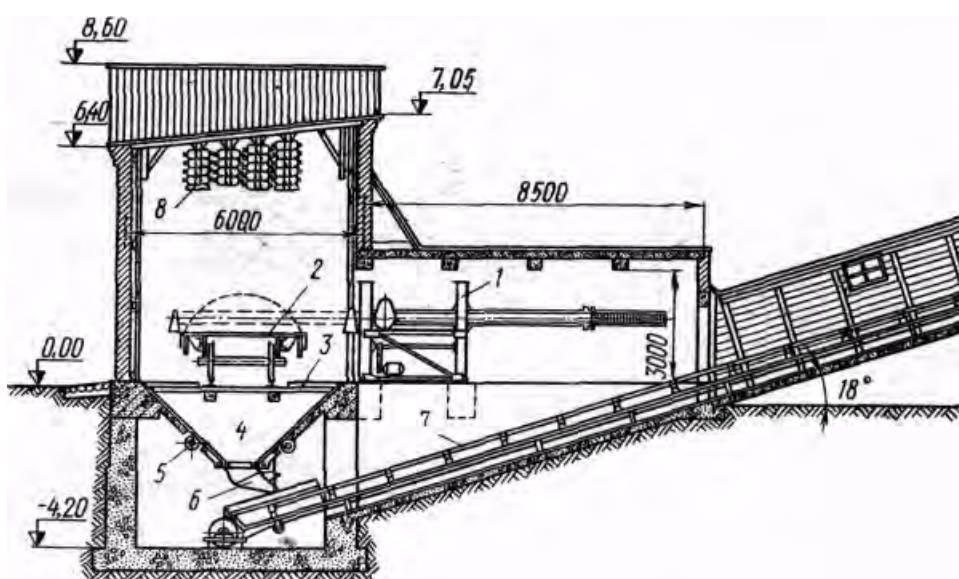


Рис. 45. Разрез приемного устройства с машиной Т-182А:

1 – разгрузчик Т-182А; 2 – разгружаемая платформа; 3 – решетка над бункером; 4 – приемный бункер; 5 – вибраторы металлической обшивки бункера; 6 – лотковый виброзатвор-питатель; 7 – наклонный ленточный конвейер; 8 – бурофрезерный рыхлитель смерзшихся материалов (в нерабочем положении)

Разгрузчики самоходные порталного типа с многоковшовыми элеваторами (С-492) характеризуются производительностью до 300...400, т/час,

Дальностью подачи (при угле наклона $\alpha \sim 90^\circ$) до 20 м; при высоте штабеля до 9 м.

В зимний период ведения работ для восстановления «сыпучести» смерзшегося заполнителя используют бурофрезерные рыхлительные машины порталного типа (рис. 47.), подвесные бурофрезерные и виброрыхлительные устройства (рис. 45 и 47).

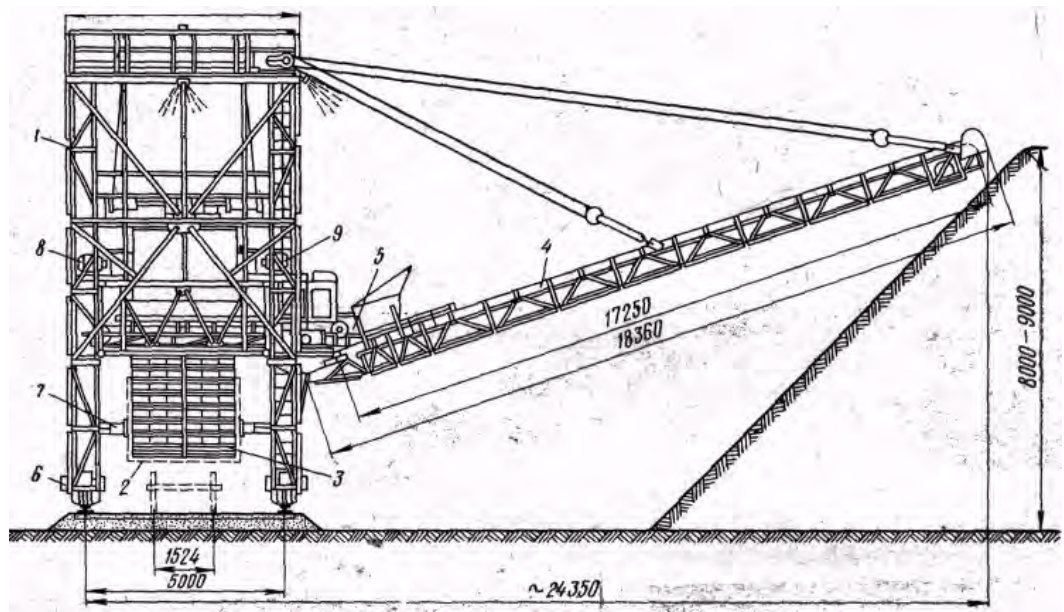


Рис. 46. Разгрузчик С-492:

1 — самоходный портал; 2 — разгружаемый вагон; 3 — ковшовые элеваторы; 4 — отвальный ленточный транспортер; 5 — поперечный реверсивный транспортер; 6 — механизм передвижения портала; 7 — выдвигающиеся упоры; 8 — привод левого ковшового элеватора; 9 — привод правого ковшового элеватора.

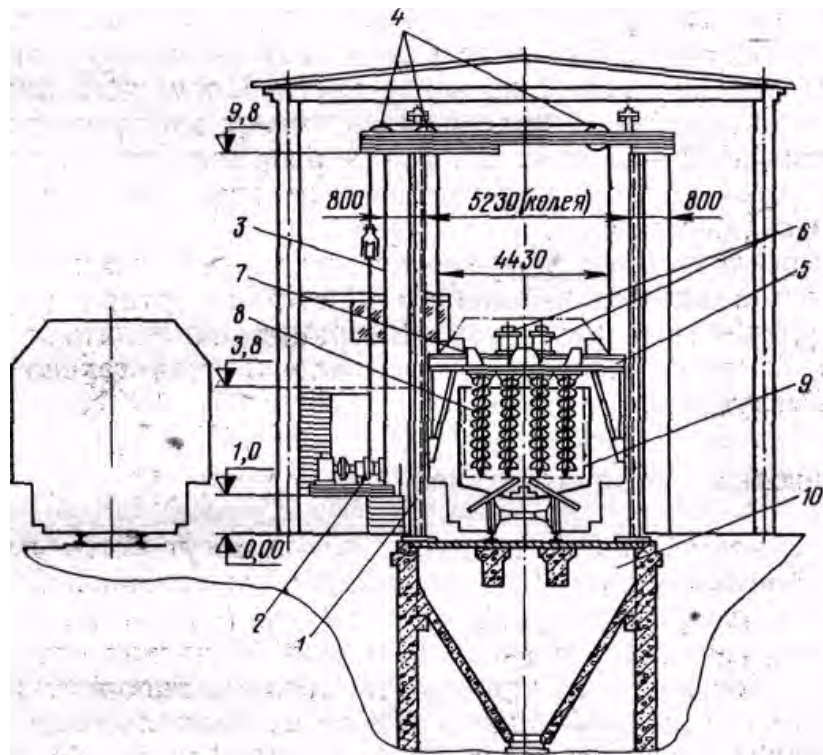


Рис. 47. Бурфрезерная рыхлительная машина:

1 — направляющие каретки портала; 2 — лебедка подъема каретки; 3 — трос; 4 — блоки; 5 — каретки; 6 — электродвигатели привода бурфрезерных барабанов; 7 — электродвигатели привода бокового перемещения рыхлителя; 8 — бурфрезерные барабаны; 9 — боковые стенки кузова гондолы; 10 — приемный бункер.

Хранение заполнителей осуществляют отдельно по видам, маркам, фракциям, не допуская их смешивания. При хранении не допускается загрязнение и смерзание заполнителей. С целью предотвращения смерзания, а также обеспечения требуемой (положительной) температуры бетонной смеси при работе в зимний период осуществляют подогрев заполнителей. Для этого емкости склада заполнителей, расходные бункеры БСУ оборудуют системами подвода тепла. Они могут быть специализированными, обустроенными в виде соответствующих тепlopунктов с подачей горячих газов в емкости хранения заполнителей, либо в варианте проходного сушильного барабана (или иного однотипного устройства) с последующей подачей подогретого заполнителя в расходные бункеры БСУ. По упрощенной схеме расходные бункеры БСУ оснащаются, например, электроколориферными установками для подогрева заполнителей горячим воздухом. При наличии котельных и иных тепlopунктов общего назначения экономически выгодно использовать для подогрева заполнителей отходящие горячие газы.

3.2.2 Типы складов для хранения заполнителей.

Открытые склады: штабельные, штабельно-эстакадные (-траншейные), эстакадно-траншейные, штабельно-кольцевые, эстакадно-полубункерные-траншейные, характеризуются разной степенью технического оснащения при общем подходе к хранению материалов – они открыты и подвергаются непосредственному воздействию окружающей среды. Такие склады характерны для ранее проектировавшихся и создававшихся производств, а также для временно разворачиваемых производств бетона (в частности, для сезонной работы в летний период). При низких капитальных затратах их характеризуют общие недостатки: увлажнение, пылеобразование, смерзание заполнителей, что усложняет работу по приготовлению бетона и обеспечению требуемого качества производимой продукции, ухудшает экологическую обстановку на предприятии и вокруг него.

На рис. 48 представлены варианты штабельно-траншейного (а) открытого склада заполнителей; штабельного эстакадно-траншейного открытого склада (б; разрез В-В) и вариант полужакрытого, имеющего крышу, штабельного эстакадно-траншейного склада (б; разрез Б-Б). В последнем случае наличие крыши (с открытой боковой стороной (или – обеими сторонами)) позволяет минимизировать ранее отмеченные недостатки открытых складов, не исключает их полностью.

Более распространенный вариант полужакрытого штабельно-траншейного полубункерного склада заполнителей представлен на рис. 49.

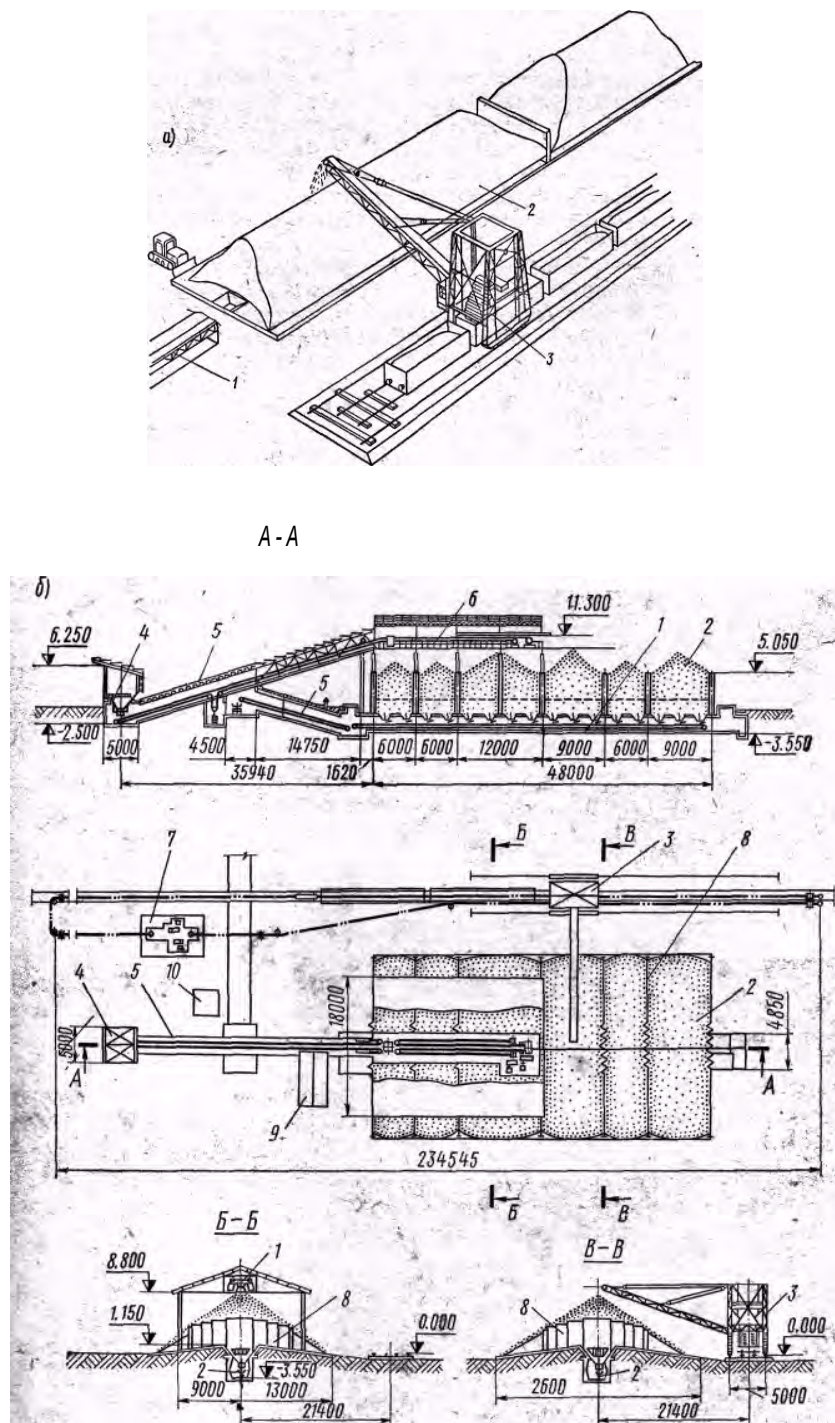


Рис. 48. Варианты открытого (а; б – разрез В-В) и полужакрытого (б – разрез Б-Б) складов заполнителей:

а — схема открытого штабельно-траншейного склада; б — план' и разрезы полужакрытого (Б-Б) и открытого (В-В) склада; 1 — траншея с подштабельным ленточным конвейером; 2 — штабели заполнителей; 3 — разгрузчик многоковшовый; 4 — приемное устройство для разгрузки автомобилей; 5 — Наклонные ленточные конвейеры; 6 — эстакада с надштабельным ленточным конвейером; 7 — маневровое устройство; 8 — разделительные стенки; 9 — пульт управления; 10 — циклон.

На рис. 50 показана принципиальная схема-вариант полужакрытого многобункерного склада заполнителей, бункеры которого являются одновременно расходными. Множество таких бункеров, оснащенных дозирующими

устройствами и расположенных над общим ленточным транспортером, обеспечивает раздельное хранение и дозирование отдельных фракция крупного заполнителя(ей), а также фракций (видов) песка по требуемому под каждый замес бетоносмесителя соотношению (сочетанию). Отдозированное количество заполнителя(ей) или отдельных фракций (видов) траншейным (подбункерным) транспортером подается в скиповый подъемник-накопитель (в ряде проектов - выполняющий функции весового (объемно-весового) дозатора из него - в бетоносмеситель.

Особенностью данного типа склада является подача материалов в бункера ковшовыми погрузчиками с перегрузочной площадки (рациональнее - полузакрытого), на которую заполнители подвозят самосвальным автотранспортом. Подогрев заполнителей в зимний период работ осуществляют подачей горячих газов (от сжигание топлива либо отходящих) в нижнюю зону бункеров.

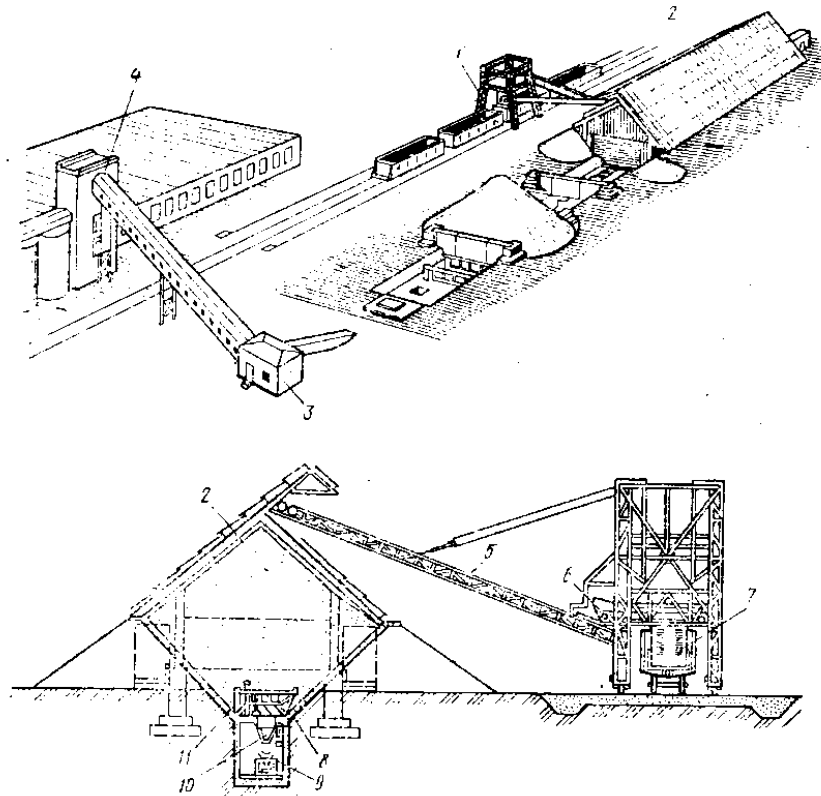


Рис. 49. Вариант полузакрытого штабельно-траншейного полубункерного склада заполнителей:

1 — разгрузочно-штабелирующая машина С-492; 2 — склад заполнителей; 3 — перегрузочная станция; 4 — бетоносмесительный цех; 5 — отвальный конвейер; 6 — поперечный ленточный питатель; 7 — многоковшовый элеватор; 8 — регистры для подогрева заполнителей; 9 — траншейный (подштабельный) ленточный конвейер; 10 — лотковый вибропитатель; 11 — указатель уровня материалов.

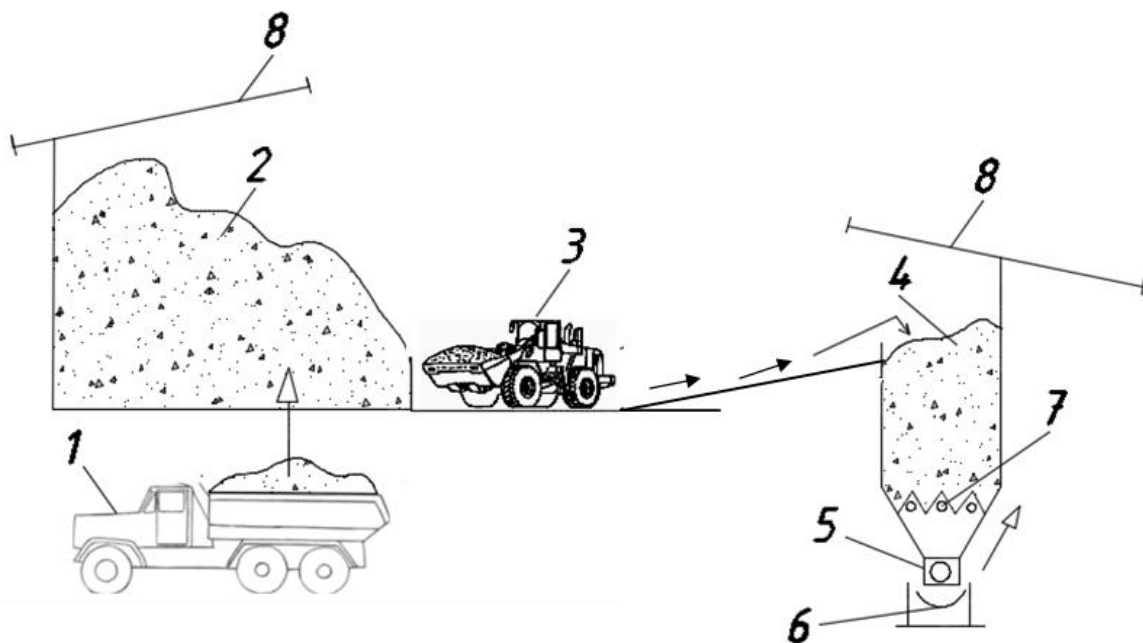


Рис. 50. Принципиальная схема-вариант полузакрытого многобункерного склада заполнителей:

1 – подвоз заполнителей; 2 – перегрузочная площадка; 3 – одноковшовый погрузчик; 4 – накопительно-расходные бункеры; 5 – в зависимости от проектного решения: а) дозирующее устройство и устройство подачи заполнителя на сборный конвейер; б) устройство подачи заполнителя на ленточный весовой (объемно-весовой) дозатор; в) на ленточный конвейер подачи материала к весовому (объемно-весовому) скиповому подъемнику-дозатору; 6 – конвейер подачи материалов в скиповый подъемник (подъемник-дозатор); 7 – устройство подогрева заполнителей горячими газами; 8 – крыша.

Кроме отмеченного, в разных вариантах проектных решений позиция № 5 схемы рис. 50 и скиповый подъемник-накопитель, включают весовые (объемно-весовые) дозирующие устройства.

Склады закрытого типа: эстакадно-траншейные полубункерные; силосные склады (одно-, 2-х рядные); силосно-кольцевые (рис. 51-53).

На рис. 51 показан вариант проектно-компоновочного решения закрытого полубункерного эстакадно-траншейного склада заполнителей.

Данный тип складов получил наиболее широкое распространение в проектных решениях стационарных предприятий строительной индустрии.

Характеризуется коэффициентом использования емкости $K_{исп} \geq 75\%$. Для подогрева заполнителей устроена система регистров в нижней зоне емкостей.

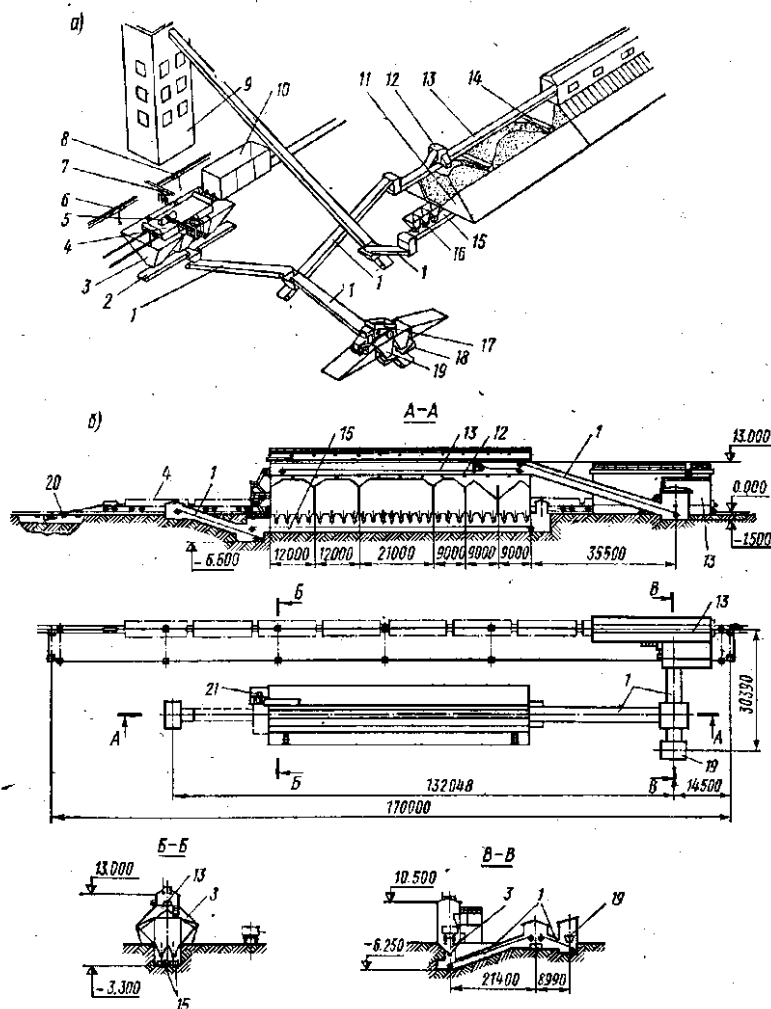


Рис. 51. Вариант закрытого полубункерного эстакадно-траншейного склада заполнителей:

а — общая схема; б — план и разрезы; 1 — наклонные ленточные конвейеры; 2 — пластинчатый питатель; 3 — бункера для приема материалов из железнодорожных вагонов; 4 — железнодорожная платформа; 5 — разгрузчик Т-182А; 6 — люковибратор; 7 — бурофрезерный рыхлитель смерзшихся материалов; 8 — люкоподъемник; 9 — бетоно-смесительное отделение; 10 — полувагон; 11 — обваловывающие призмы; 12 — сбрасывающая тележка; 13 — эстакадный (надштабельный) ленточный конвейер; 14 — разделительные стенки; 15 — траншейный (подштабельный) ленточный конвейер; 16 — лотковый вибротвор-питатель; 17 — автосамосвал; 18 — качающийся питатель; 19 — бункеры для приема материалов из автосамосвалов; 20 — маневровая (тяговая) лебедка; 21 — циклон.

Наличие земляной (грунтовой) обваловки обеспечивает положительную температуру стен емкостей, включая зимний период работ. Кроме этого, емкости оснащены подвесными вибропобудителями — обрушителями свода, предназначенными для предотвращения смерзания материала при хранении в зимний период.

На рис. 52 представлен вариант силосного склада заполнителей.

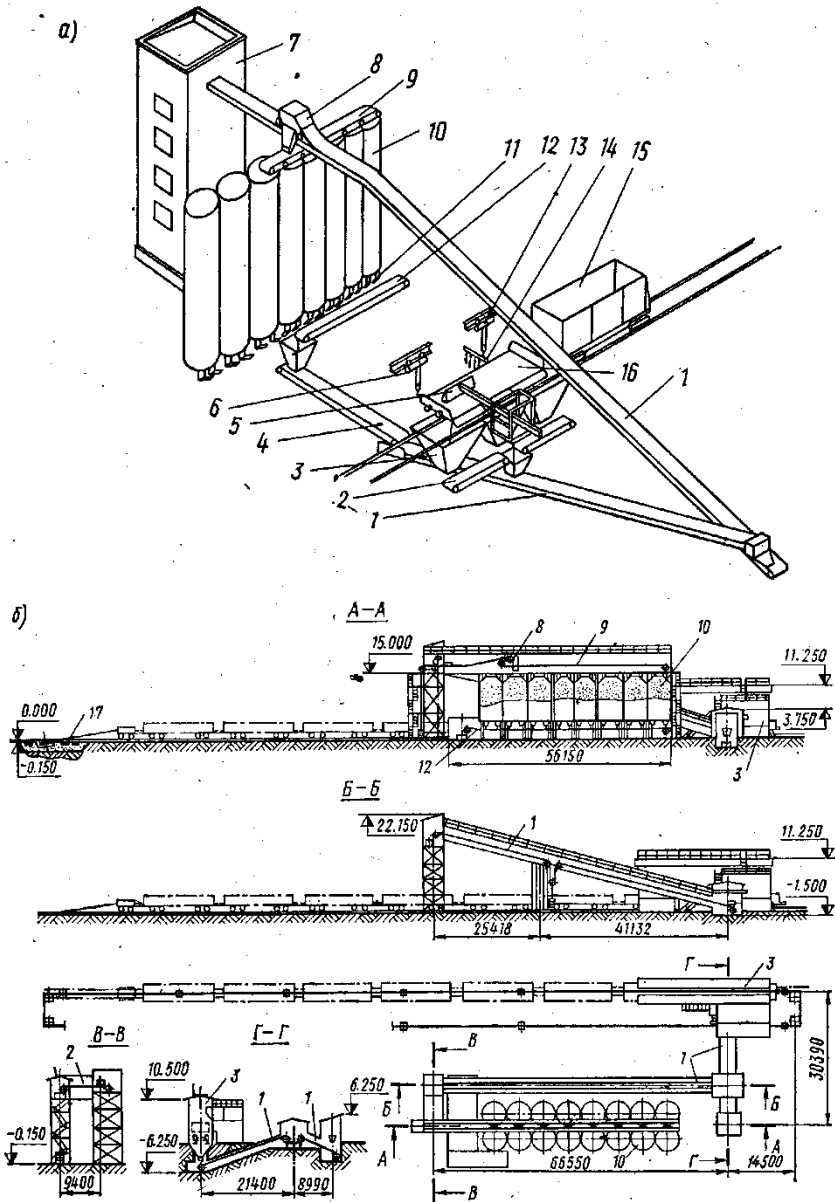


Рис. 52. Вариант силосного склада заполнителей:

а — общая схема склада; б — план и разрезы склада; 1 — наклонные ленточные конвейеры; 2 — пластинчатый питатель; 8 — приемные бункера; 4 — горизонтальный стационарный возвратный конвейер; б — разгрузчик Т-182А; 6 — люковибратор; 7 — бетоносмесительное отделение; 8 — сбрасывающая тележка; 9 — эстакадный (надсилосный) передвижной реверсивный конвейер; 10 — силосы; 11 — лотковый виброзатвор-питатель; 12 — траншейный (подсилосный) передвижной реверсивный конвейер; 13 — люкоподъемник; 14 — бурофрезерный рыхлитель смерзшихся материалов; 15 — полувагон; 16 — железнодорожная платформа; 17 — маневровая (тяговая) лебедка.

В зависимости от производительности проектируемого предприятия и потребности в разных видах заполнителей подбирается количество, емкость силосов и одно-, или 2-х рядное их расположение; характеризуется $K_{исп} \geq 90\%$ и большими капитальными затратами, в сравнении с полубункерными складами.

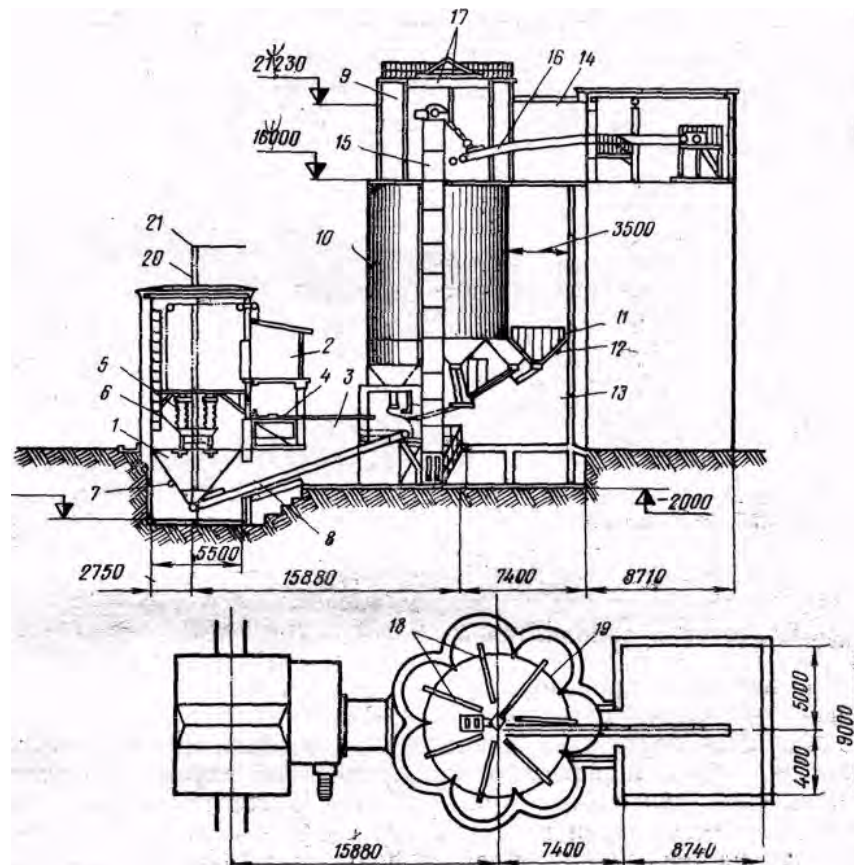


Рис. 53. Вариант силосно-кольцевого склада заполнителей:

1 – приемный бункер; 2 – помещение пульта управления; 3 – галерея ленточного конвейера; 4 – разгрузчик Т-182А; 5 – бурофрезерный рыхлитель; 6 – люкоподъемник; 7 – вибратор на приемном бункере; 8 – ленточный конвейер; 9 – надсилосное отделение; 10 – силосы; 11 – регистры подогрева заполнителей; 12 – вибратор под днищем силоса; 13 – подсилосное помещение; 14 – галерея ленточного конвейера; 15 – вертикальный элеватор; 16 – ленточный конвейер; 17 – ручная таль; 18 и 19 – распределительные конвейеры; 20 – ось бункера; 21 – ось железнодорожного пути.

Вариант компоновочного решения силосно-кольцевого склада заполнителей представлен на рис. 53. При коэффициенте использования емкости $K_{исп} \leq 90\%$ такие склады компактнее, занимают меньшую территорию. Однако объем емкостей и их количество ограничено. Типовые проектные решения таких складов (диаметр сборных железобетонных колец емкостей $\varnothing \geq 3,5$ м) рассчитаны на производительность до 35 тыс.м³ бетона в год. В приведённом на рис. 53 варианте подъём материалов в силоса и в расходные бункеры БСУ осуществляется многоковшовым вертикальным элеватором. В иных вариантах используются «крутонаклонные» ($\alpha \sim 45^0$) транспортеры, характеризующееся наличием сдвоенных лент - несущей и накрывочной, между которыми зажимается слой перемещаемого материала.

Внутривозовское транспортирование заполнителей осуществляют с помощью ленточных транспортеров с плоской лентой, «желоб» которой образуется за счет опорных катков. Поэтому угол наклона транспортеров не пре-

вышает 18 (20)⁰ и транспортные эстакады (галереи) имеют значительную длину. В этой связи перспективно использование «желобообразной» транспортной ленты (с упругим «преднапряженным» кордом в верхней части ее сечения), что позволяет устраивать конвейеры с углом подъема до 25...30⁰ и уменьшать длину эстакад. В Беларуси были разработаны крутонаклонные транспортеры со сдвоенными несущей и накрывочной лентами, обеспечивающие подъем материала под углом до 45⁰. Их в целом успешная эксплуатация выявила и недостатки: большую ремонтную сложность и меньший срок эксплуатации, по сравнению с традиционными плоскими лентами (из-за более высокого усилия натяжения несущие ленты, чем это имеет место для «низконаклонных» транспортеров).

Более компактны (но менее производительны) устройства вертикальной подачи материалов в виде элеваторов многоковшовых и скиповых подъемников. При постоянном использовании легких заполнителей их подача может осуществляться с помощью пневмотранспорта, т.е. пневмонагнетательных установок (с использованием сжатого воздуха в диапазоне рабочего давления ~ 0,4...0,7 МПа).

Приемы подготовки заполнителей включают сортировку и обогащение; промывку; влагонасыщение легких пористых заполнителей; подогрев и сушку; активирование поверхности.

Сортировка - разделение исходного материала по фракциям с целью их последующего дозирования в соотношении, обеспечивающем минимальную пустотность и удельную поверхность заполнителя, что позволяет минимизировать расход цемента (объем цементного теста) в бетоне.

Обогащение - сопутствующий сортировке или реализуемый отдельно прием повышения качества заполнителя путем введения в его гранулометрический состав недостающих фракции с целью минимизации пустотности и удельной поверхности.

В практике отечественной промышленности производства бетона этот приём реализуется путем обогащения мелких речных (или иных природных) песков, характеризующихся модулем крупности менее: $M_k < 2,0$, доли ед. (а зачастую $M_k \sim 1,0...1,5$, доли ед.), введением крупных фракций гранитного отсева (рекомендуется – крупнее размера зерна 0,5 мм, т.е. в диапазоне 0,5...5,0 мм). Данный прием позволяет получать мелкий заполнитель с модулем крупности: $M_k = 2,5...3,5$, с непрерывным гранулометрическим составом, что обеспечивает минимизацию расхода вяжущего при одновременном повышении качественных характеристик бетона. Рекомендуется отдельное дозирование и введение в приготавливаемый бетон природного песка и крупных фракций отсева в предварительно установленном рациональном соотношении. Оно зависит от гранулометрии ($M_{k_{исх}}$) исходного песка и требуемой крупности ($M_{k_{обог.}}$) обогащенного материала.

Крупные фракции получают переработкой технологического отсева, образующегося при дроблении горной породы в производстве щебня гранитного на РУПП «Гранит», Брестской области.

Промывка заполнителей преследует цель удаления пылистых, глинистых и илистых фракций, ухудшающих сцепление поверхности его зерен с цементным камнем, что снижает прочность бетона. Одновременно они повышают «водопотребность» бетонных смесей, т.к. требуется увеличение расхода воды для обеспечения их равноподвижности, что сопровождается ростом пористости бетона. Эти отрицательные эффекты дополняются развитой удельной поверхностью тонкодисперсных фракций, а все вместе вызывает необходимость увеличения расхода цемента, чтобы не допустить снижения качественных (прочностных и эксплуатационных) характеристик бетона.

Влагонасыщение, как предваряющий приготовление бетона технологический приём, применяют при приготовлении легких бетонов на пористых заполнителях, которые затем подают к месту формирования изделий (чаще - укладки бетона в монолитные конструкции) нагнетательными методами: с помощью бетононасосов или пневмонагнетанием. Кроме этого, при приготовлении товарного легкого бетона с транспортированием на значительное расстояние при повышенной температуре окружающей среды. Предварительное влагонасыщение пористых заполнителей осуществляют разными способами, включая дождевание, замачивание в воде (на специально обустроенных участках), а для перекачивания под давлением - включая вакуумную обработку с использованием специальных (периодического действия) установок.

В варианте заводского изготовления сборных изделий реализуется простейший способ предварительного водонасыщения пористых заполнителей путем перемешивания с расчетной частью воды затворения (определяется лабораторией предприятия), после чего в смеситель вводят остальные компоненты и оставшуюся часть воды затворения (включая в эту часть применяемые химические добавки).

Подогрев заполнителей - необходимая мера при ведении работ в зимний период для обеспечения качества бетона. Подогрев осуществляет контактным способом (с помощью оборудования емкостей складов системой трубчатых регистров подогрева) и конвективным способом, подавая горячие газы (отходящие при наличии котельных (и подобного), либо от сжигания разных видов топлива) в слой материала. Конвективный подогрев преимущественно реализуется в расходных бункерах (емкостях), с подачей горячих газов в их нижнюю часть.

Существуют системы подогрева заполнителей в противоточных сушильных барабанах (или иных сушильных установках) с последующей подачей

материала вертикальными многоковшовыми элеваторами в надбункерное отделение БСУ и затем в расходные бункеры.

Простейший способ конвективного подогрева заполнителей - подача потока горячего воздуха от электроколориферов в нижнюю часть расходных бункеров БСУ. Его недостаток - низкая теплоотдача воздуха, что требует повышения температуры его нагрева и, соответственно, мощности электроколориферов

Необходимо отметить, что затраты на подогрев заполнителей (необходимо до $5...10\text{ C}^0$ и более) оправданы повышением качественных характеристик бетона и снижением расхода тепла при термообработке изделий.

3.3 Минеральные и химические добавки.

Минеральные добавки применяют в бетонах для решения следующих основных задач.

Для *снижения расхода цемента* и экономических затрат за счет введение в бетон более дешевых миндобавок. Приём рационален для бетона низких классов ($\leq \text{C}15/20$) при использовании цемента марки М500 (класс "42,5") и выше. Проблема заключается в том, что при использовании высокоактивных цементов в бетонах низких классов их прочность обеспечивается малым расходом вяжущего. Зачастую объем цементного теста (цементного камня) недостаточен для заполнения объема пустот смеси заполнителей, формирование слитной и непроницаемой структуры бетона. В результате (несмотря на обеспечение требуемой прочности) образующаяся пористость ухудшает эксплуатационные характеристики бетона и снижается его защитная способность по отношению к стальной арматуре в железобетонных изделиях (конструкциях).

Введение в цемент (бетон) вещества дисперсной минеральные добавки увеличивает объем смешанного вяжущего в бетоне, обеспечивает заполнение пустотности смеси заполнителей и слитность его структуры. При этом следует учитывать, что примерное снижение активности цемента соотносится, как 1% на 1% массы введенной добавки, если водопотребность последней не превышает водопотребность (показатель нормальной густоты) цемента, и возрастает в противном случае. Характеристики смешанного вяжущего перед его применением определяются лабораторией предприятия (или профильный научно-исследовательской (испытательной) лабораторией (учреждением)).

Для *снижения экзотермии вяжущих* за счет понижения тепловыделения при замене части цемента инертным (не выделяющим тепло) веществом минеральной добавки. Исключение составляют золы, содержащие обожженную известь (CaO , MgO), гашение которой сопровождается выделением теплоты.

Для повышения водостойкости бетона - предотвращения развития коррозии 1-го вида (выщелачивания) под воздействием пресных вод, за счет связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ веществом активной минеральной добавки в нерастворимые гидросиликаты: $n\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$. Этот эффект обеспечивают добавки, содержащие аморфный кремнезем - микрокремнезем, золы, шлаки, вулканические пемзы, туфы, трепел, глиежи, опоки и др. Следует учитывать, что этот технологический прием рационален для бетона подземных и подводных частей зданий и сооружений и ограниченно применим для изделий иного назначения.

Для снижения высолообразования бетона, особенно для изделий декоративных или с декоративной окраской (например, тротуарных и иных плит, бортовых камней), эксплуатирующихся в зоне переменного насыщения-высушивания, замораживания-оттаивания, солевого воздействия, рекомендуется применять в качестве минеральной добавки – микрокремнезем, с содержанием активного (аморфного) SiO_2 не менее 85% массы, в дозировке 5% от массы цемента (до 10% при техническом и экономическом обосновании).

Для повышения водонепроницаемости бетона за счёт добавок, увеличивающихся в объеме при контакте с водой и уплотняющих структуру бетона. Это молотые глины, лесс, доломитовая и известняковая мука и др. Например, введение 5...10% бентонитовой глины обеспечивает практическую непроницаемость гидротехнического бетона для воды (даже при значительном избыточном давлении).

Для повышения сульфатостойкости бетона и снижение опасности щелочных реакций с заполнителями, способных привести к разрушению бетона. Исключение составляют добавки, вещество которых содержит алюминатную и сульфатосодержащие составляющие, а также окислы Na_2O и K_2O .

Для повышения однородности (нерасслаиваемости) бетонной смеси в процессе транспортирования и подачи к месту укладки (золы, глины, трепел, доломитовая мука и др.).

Разновидности применяемых минеральных добавок:

а) активные минеральные добавки (реагирующие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - природные или пуццолановые: доломиты, трепел, опоки, глиежи, туфы, пеплы, пемзы, трассы и др., а также искусственные: доменные (кислые) гранулированные шлаки, золы-унос ТЭС, топливные шлаки, керамзитовая и аглопоритовая пыль;

б) активные минеральные добавки, способные к самостоятельному твердению: основные ($>\text{CaO}$) доменные шлаки и высококальциевые золы-унос (горючих сланцев, некоторых бурых углей). Их дозировки обычно выше, чем в добавок группы а), и при введении до 20...30% от МЦ они практически не снижают прочность бетона низких классов.

в) тонкомолотые инертные добавки или микронаполнители: молотый песок, песчаник, известковая и доломитовая мука и др., не вступающие в химические реакции с продуктами гидратации цемента.

Отрицательные последствия, которыми может сопровождаться введение в бетон минеральных добавок и которые следует учитывать при их применении:

- рост усадочных деформаций (кроме зол-уноса и микрокремнезема); больший для природных, меньший для добавок искусственного происхождения;

- рост истираемости, а для бетона гидротехнического назначения - понижение кавитационной устойчивости;

- снижение морозостойкости вследствие роста пористости и проницаемости цементного камня и бетона и снижение устойчивости к знакопеременным деформациям;

- снижение устойчивости к попеременному увлажнению-высушиванию, особенно в зоне переменного уровня воды, "выхода" конструкций на поверхность грунта и т.п. условий эксплуатации;

- для железобетонных конструкций - снижение защитной способности бетона по отношению к стальной арматуре из-за роста проницаемости и усадки.

Исключением из этих общих правил является высокоактивная минеральная добавка микрокремнезема, связывающие свободную гидроокись кальция в нерастворимые кристаллогидратные силикаты кальция, соответствующие по составу традиционным кристаллогидратам портландцемента, что способствует уплотнению структуры цементного камня и бетона (в зонах контакта поверхности зерен заполнителей с цементным камнем), а она этой основе - росту его прочностных и эксплуатационных характеристик. Кроме этого, мельчайшие частички микрокремнезёма проявляют эффект центров кристаллизации, способствуя ускорению процесса образования кристаллогидратов и темпа формирования структуры цементного камня и бетона.

Микрокремнезем (МК) - продукт реакции восстановления кварца высокой чистоты углем в электродуговых печах при производстве кремниевых и железокремниевых сплавов, т.е. отход производства кремнийсодержащие сплавы, преимущественно темных цветов. Состоит из сферических частиц, размерами 0,02-0,1 мкм (200-1000 Å), и содержит 85...95% SiO₂ в аморфной форме. Характеризуется высокой удельной поверхностью ~ 30 000 см²/г (по прибору типа «ПСХ») или $S_{уд} \geq 150\ 000\ \text{см}^2/\text{г}$ (по адсорбции паров азота).

При введении в бетон микрокремнезема следует учитывать ожидаемую ускоренную потерю подвижности бетонной смеси, а также сложность его равномерного распределения в объеме бетона.

В этой связи микрокремнезем рационально вводить совместно с добавками пластификаторами 1-ой группы (молекулы их веществ способствуют

дезагрегации (распадению) флоккул микрокремнезема) при предварительном приготовлении (интенсивном в смешивании) водной суспензии микрокремнезема (эффективнее - с пластификатором) и введение ее в бетоносмеситель.

В настоящее время ведутся исследования (БНТУ, кафедра «Технология бетона и строительные материалы») по использованию в технологии бетона (в первую очередь высокопрочного) ультрадисперсного микрокремнезема, получаемого путем переработки жидкого стекла по специальной технологии и характеризующегося значительно большей дисперсностью, чем традиционный микрокремнезем, и, как следует ожидать, большой эффективностью в бетоне.

Доставку, разгрузку, хранение минеральных добавок осуществляет зависимости от их агрегатного состояния.

С *тонкодисперсными* минеральными добавками (микрокремнезем; зола-уноса; молотые иных их видов) работы ведут по рассмотренной ранее технологии использования цемента.

С *«кусковыми»* добавками (шлаки, пемзы, туфы и т.д.) работы ведут по схеме приема и хранения заполнителей. После измельчения (преимущественно - помола в шаровых мельницах) в сухом (порошкообразном) виде - по схеме цемента. В случае мокрого помола (например, песка в технологии ячеистых бетонов) полученную пульпу (массу) транспортируют, накапливают и используют в соответствии с особенностями данного технологического процесса производства изделий.

Химические добавки в бетон в современных условиях преимущественно доставляют автотранспортом; принимают и разгружают в соответствии с принятыми производителем вариантами их затаривания, в зависимости от их агрегатного состояния: жидкости - в емкостях; твердофазные (порошкообразные или кусковые) в мешках, бадьях, контейнерах.

Хранят химические добавки в соответствии с положениями нормативной документации на конкретные и их виды. Приготовление растворов химических добавок к применению в бетоне рассмотрены в разделе 4. «Приготовление бетонных смесей с химическими добавками».

3.4 Вода для бетона.

Для затворения цементного бетона используют водопроводную питьевую воду (ГОСТ 2874) и техническую (СТБ 1114) воду.

В соответствии с СТБ 1114-98 к воде для приготовления бетонных и растворяемых смесей, поливки бетона и промывки заполнителей предъявляются следующие требования.

Вода не должна содержать химических соединений и примесей в количестве, которое может влиять на сроки схватывания цементного теста, скорость

твердения, прочность, морозостойкость и водонепроницаемость бетона, коррозию арматуры в пределах, превышающих нормы, указанные в таблице 2.

Для приготовления бетонных и растворных смесей, поливки бетона и промывки заполнителей не допускается применение сточной, болотной и торфяной воды.

Таблица 2.

Ограничение содержания химических соединений и примесей по СТБ 1114.

Наименование воды	Предельное содержание, мг,л			
	Рас- твори- мых солей	Сульфат ионов (SO_4^{-2})	Хло- рид- ионов (Cl^{-1})	Взве- шенных частиц
1	2	3	4	5
1. Для затворения бетонной смеси при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций и нагнетаемого раствора	3000	2000	600	200
2. Для затворения бетонной смеси при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой, а также строительных штукатурных растворов и растворов для армированной каменной кладки	5000	2000	2000	200
3. Для затворения бетонной смеси при изготовлении бетонных неармированных конструкций, к которым не предъявляются требования по ограничению образования высолов, а также строительных растворов для неармированной каменной кладки.	10000	2000	4500	300
4. Для промывки заполнителей, включая мокрую сортировку и охлаждение заполнителей	5000	2700	2000	500

1	2	3	4	5
5. Для поливки рабочих швов при перерывах в бетонировании конструкций, поверхностей стыков, подлежащих омоноличиванию, и поверхностей водосбросных конструкций, а также для трубного охлаждения массива бетона	3000	2000	600	200
6. Для поливки наружных поверхностей бетонных и железобетонных конструкций	5000	2700	2000	500
7. Для поливки наружных поверхностей бетонных конструкций (исключая поверхности водосбросных сооружений), если на поверхности может быть допущено появление выцветов и высолов	35000	2700	20000	500

Примечание. Вода для затворения бетонной смеси с применением глиноземистого и гипсоглиноземистого цементов должна удовлетворять требованиям пункта 1 настоящей таблицы.

Вода, удовлетворяющая требованиям таблицы, и в которой содержится нитратов, сульфидов, сахара, полифосфатов и цинка, каждого более чем, соответственно, 500, 100, 100, 100 мг/л, признается пригодной, если сроки схватывания цементного теста изменяются не более чем на 25 %, прочность бетона после 7 и 28 дней нормально-влажностного твердения, а также морозостойкость и водонепроницаемость снижаются не более чем на 10 %, а арматурная сталь в бетоне находится в устойчивом пассивном состоянии.

Общее содержание в воде ионов (Na^+) и калия (K^+) в составе растворимых солей должно быть не более 1000 мг/л.

Допускается к применению вода при наличии на поверхности следов нефтепродуктов, масел и жиров.

Водородный показатель воды (рН) должен быть не менее 4 и не более 12,5.

Окисляемость воды должна быть не более 15 мг/л.

Допускается к применению вода при интенсивности запаха не более 2 баллов.

Окраска воды должна находиться в пределах от бесцветной до желтоватой с цветностью не выше 700 по ГОСТ 3351. Если к бетону предъявляются требования технической эстетики, цветность воды не должна превышать 300.

Допускается в отдельных случаях использование воды с цветностью более 700. При этом пригодность воды должна быть установлена определением физико-технических свойств бетонной смеси и бетона, указанных ранее.

Вода, содержащая пенообразующие вещества, пригодна для применения при стойкости пены не более 2 мин. Допускается применение воды с устойчивостью пены, равной 2 и более минут при условии определения пригодности воды сравнительными испытаниями физико-технических свойств бетонной смеси и бетона, указанных ранее.

В местах водозабора (при первичном контроле качества воды) содержание грубодисперсных примесей в воде должно быть не более 4 % по объему.

Температура подогрева воды (практикуется при работе в зимний период) не должна превышать 70 °С (рекомендуется ≤ 60 °С), т.к. при большей температуре чрезвычайно резко активизируются реакции гидратации цемента при контакте с горячей водой, что сопровождается снижением прочности цементного камня и бетона при последующем твердении. С этих позиций рекомендуется в зимний период работ использовать подогрев заполнителей, а воду нагревать не более чем до 40...45 °С.

В случае использования глиноземистого цемента и температура воды не должна превышать 40 °С.

4 ПРИГОТОВЛЕНИЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ К МЕСТУ ФОРМОВАНИЯ.

4.1 Компонировочные решения бетоносмесительных узлов (установок).

Заводы промышленности сборного бетона и железобетона строились с учетом перспективы долговременной эксплуатации. В связи с этим в подавляющем большинстве они оснащены бетоносмесительными узлами (цехами, установками) одноступенчатой (или – башенной) схемы компоновки в вертикальной плоскости (рис. 54 и рис. 55). Она характеризуется разовым подъемом твердофазных материалов в надбункерное отделение, распределение их по расходным бункерам и движение далее – самотеком, под действием силы тяжести.

В горизонтальной плоскости такие БСУ компонуются в виде секций на два бетоносмесителя циклического действия, принудительного либо гравитационного (используют реже в современных условиях) типа. Секция обслуживается одним комплектом дозаторов, при последовательном дозировании материалов для работающих бетоносмесителей.

Гнездовая схема компоновки секций БСУ (на 3...4 бетоносмесителя, обслуживаемых одним комплектом дозаторов) в современных условиях производства сборного железобетона не практикуется.

Бункерное отделение составляют расходные бункеры цемента (не менее 2-х), песка (не менее 2-х) и крупного заполнителя (не менее 4-х), рассчитанные по запасу материалов на 2...4ч работы БСУ. Они оснащаются виброрыхлителями (обрушителями сводов), навесными вибраторами для побуждения (при необходимости) движения материала. Возможно оснащение расходных бункеров заполнителей системами подогрева (подачей горячих газов (воздуха) в их нижнюю зону).

Отделение дозаторов оснащается весовыми (для цемента, заполнителей плотных горных пород, воды, растворов добавок), объемно-весовыми (либо объемными) – для пористых заполнителей; в ряде случаев для воды и растворов химических добавок – объемными, или «работающими» на фиксированный (установленный) расход при непрерывном дозировании порции жидкости.

Расходные емкости воды (или емкости-устройства для ее подогрева в зимний период работ) и растворов химических добавок располагаются либо выше уровня дозаторов (обязательно при подаче в них самотеком), либо на уровне отделения дозаторов или внизу - при подаче под давлением с помощью насосов.

Приготовленная бетонная смесь из бетоносмесителей в разных вариантах исполнения БСУ может через приемную (направляющую поток смеси) воронку (или бункер выдачи (накопления) бетона) подаваться в транспортное

средство (рис. 55), либо загружаться в самоходную телегу (или иное средство) бетоновозной эстакады (рис. 54) для подачи к местам формирования. Предпочтительно обустройство БСУ накопительным бункером выдачи бетона в транспортное средство, особенно если объем бетона, укладываемого в формуемое изделие(ия), превышает объем замеса бетоносмесителя и требуется множество замесов. Например, при формировании изделий в кассетах, изготовлении ферм, балок и т.п. крупногабаритных изделий.

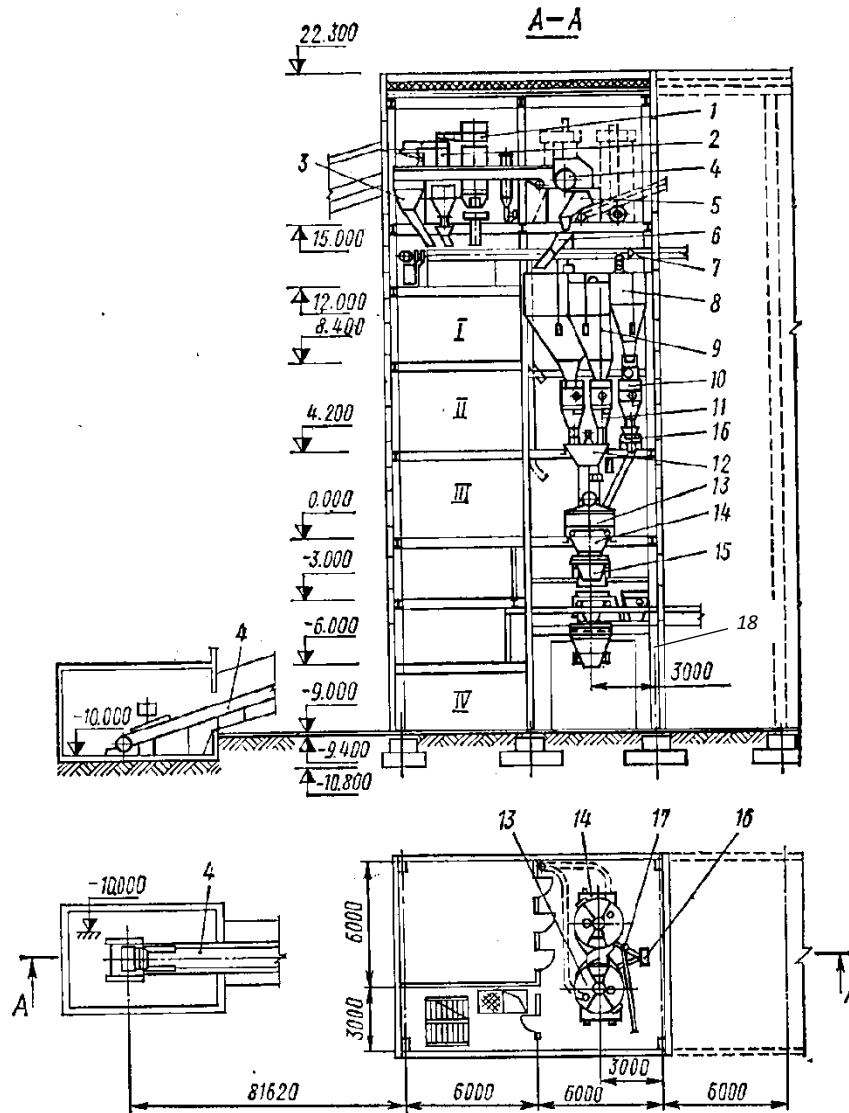


Рис. 54. Типовая унифицированная секция по производству бетонных и растворных смесей с принудительными смесителями:

1 — фильтр всасывающий; 2 — группа из двух циклонов; 3 — улавливатель цемента; 4 — наклонно-горизонтальный ленточный конвейер 2637/1; 5 — течка двухрукавная с перекидным клапаном; 6 — воронка поворотная; 7 — конвейер винтовой; 8 — указатель уровня; 9 — обрушитель сводов песка; 10 — дозатор по массе автоматический для цемента (АВДЦ); 11 — дозатор по массе автоматический для инертных (АВДИ); 12 — воронка сборная; 13 — бетоносмеситель; 14 — воронка выдачи бетона; 15 — бункер раздаточный (накопитель); 16 — распределитель цемента; 17 — устройство раздаточное для жидкости; 18 — самоходная телега-бадя бетоновозной эстакады для подачи бетона к формовочным постам технологических линий.

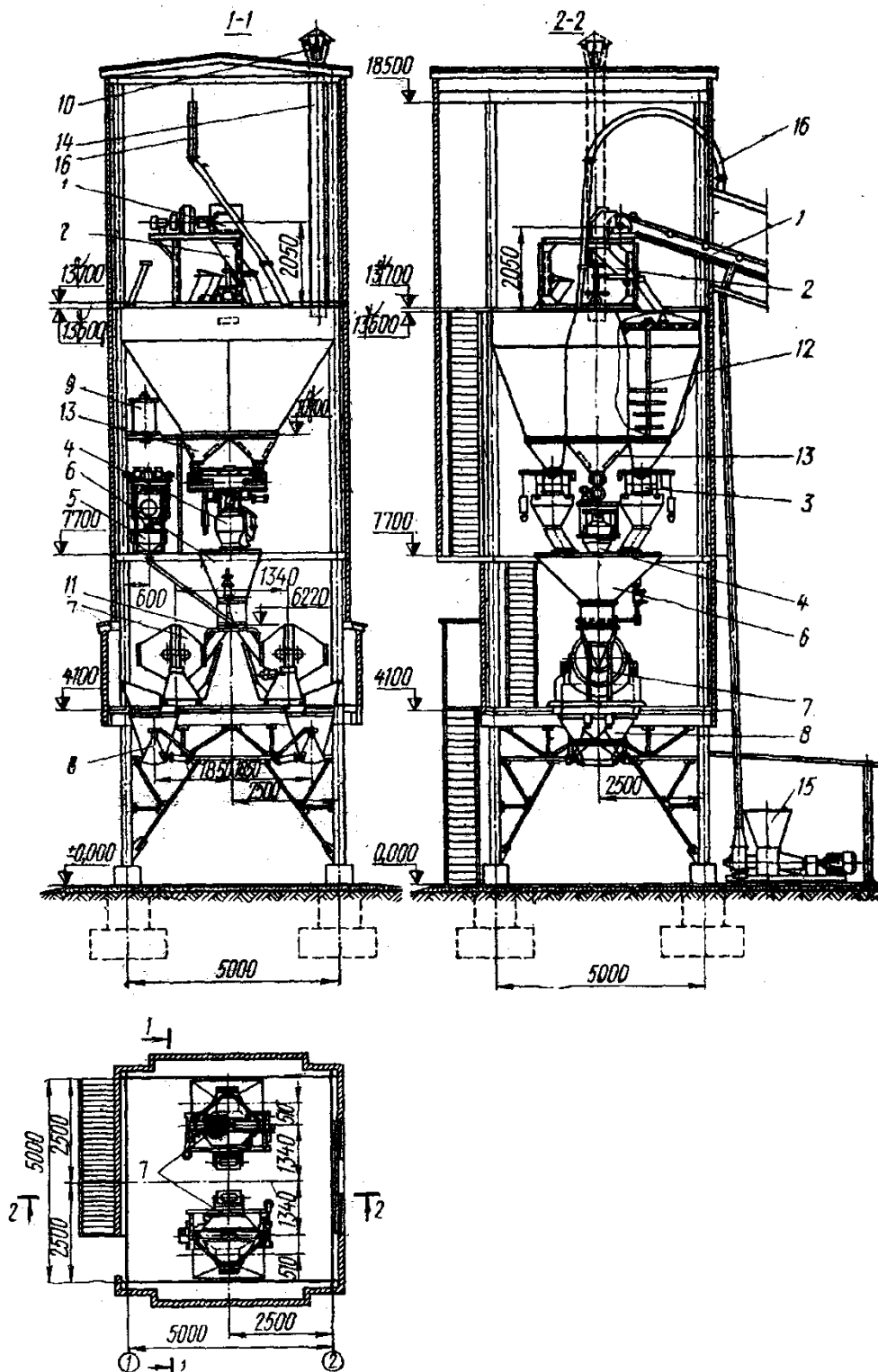


Рис. 55. Одноступенчатая автоматизированная бетоносмесительная установка с гравитационными бетоносмесителями:

1 — конвейер ленточный наклонный; 2 — поворотная воронка с приводом; 3 — автоматический весовой дозатор для заполнителей; 4 — автоматический дозатор для цемента; 5 — весовой дозатор для жидкостей; 6 — приемная воронка с перекидным клапаном; 7 — бетоносмеситель; 8 — бункер выдачи (накопления) бетона; 9 — бак для воды с трубопроводом; 10 — фильтр; 11 — раздаточный клапан для воды с пневмоприводом; 12 — обрушитель сводов песка; 13 — аэрационное сводообрушающее устройство; 14 — воздуховод; 15 — эрлифт; 16 — линия подачи цемента

4.2 Бетоносмесители, дозирование, приготовление бетонных смесей.

Современные бетоносмесительные узлы (установки) в основном оснащены бетоносмесителями принудительного действия (рис. 56 – рис. 58), т.к. они обеспечивают качество приготовления бетонных смесей (растворов) всего диапазона консистенций (от жестких до литых), а также всех видов используемых заполнителей (тяжелые – легкие; крупные – мелкозернистые).

Используемые на ряде предприятий гравитационные бетоносмесители (пример на рис. 59) эффективны для приготовления пластичных бетонных смесей на тяжелых (плотных горных пород) заполнителях. В этом случае зерна крупного заполнителя способствуют перемешиванию бетонной смеси до однородного состояния. Одновременно следует отметить, что использование гравитационных бетоносмесителей при постоянном приготовлении пластичных тяжелобетонных смесей оправдано, так как они характеризуются меньшей энергоемкостью и ремонтной сложностью, а также более продолжительными межремонтными циклами и долговременностью эксплуатации, в сравнении с принудительными бетоносмесителями.

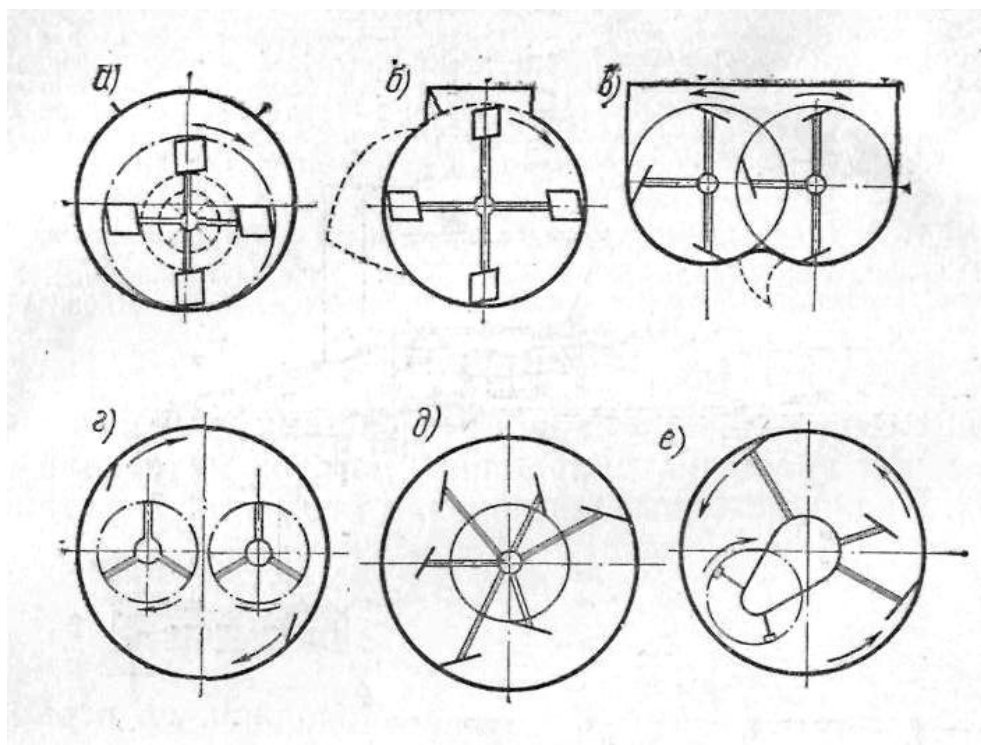


Рис. 56. Принципиальные схемы смешивающих аппаратов принудительных смесителей:

а, б — с одним горизонтально расположенным валом: в — с двумя такими же валами; г — прямоточный с вертикально расположенными валами и неподвижной чашей; д — роторные; е — планетарно-роторные

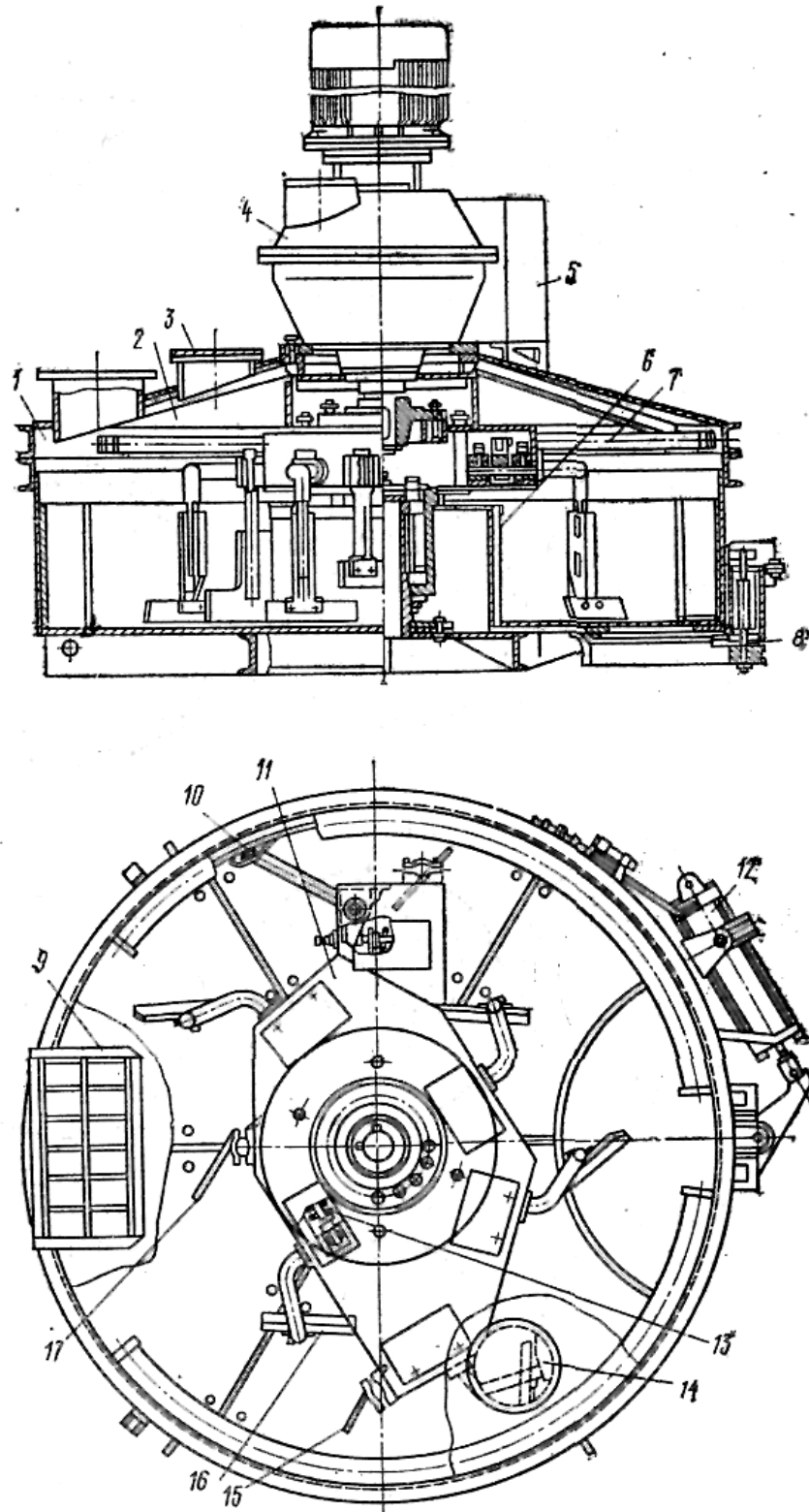


Рис. 57. Бетоносмеситель роторный

1 — корпус-чаша; 2 — крышка; 3 — вытяжной патрубок; 4 — мотор-редуктор; 5 — пульт управления; 6 — центральный стакан; 7 — сливная труба; 8 — разгрузочный затвор; 9 — загрузочный люк для заполнителей; 10 — наружный очистной скребок; 11 — ротор; 12 — пневматический цилиндр; 13 — пружина; 14 — загрузочный патрубок для цемента; 15 — верхняя лопасть; 16 — донная лопасть; 17 — внутренний очистной скребок.

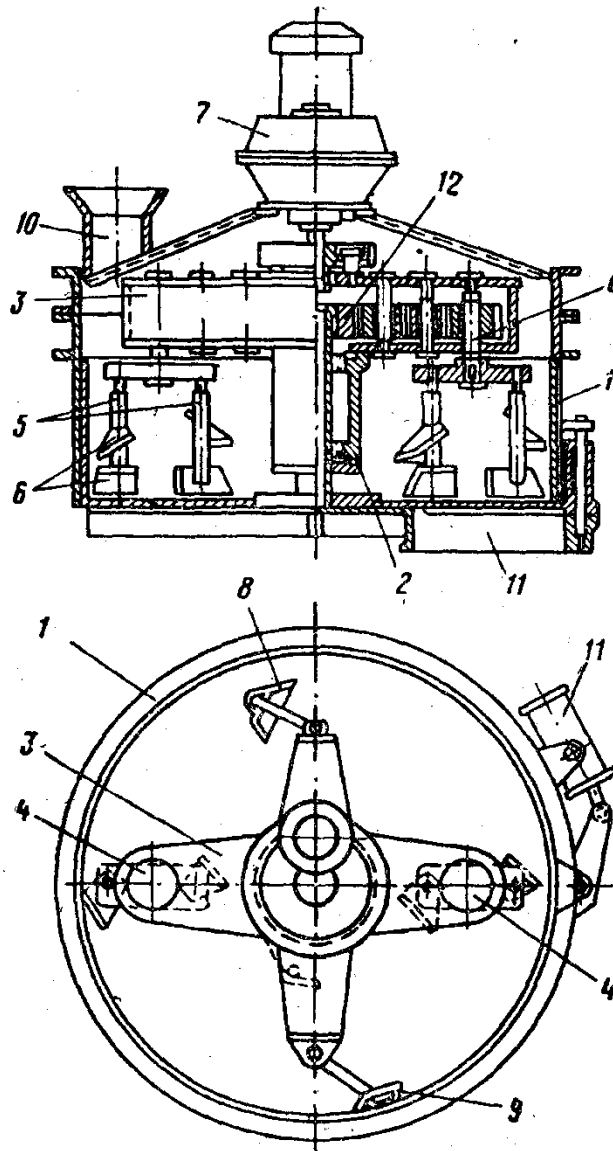


Рис. 58. Бетоносмеситель планетарно-роторный:

1 — чаша смесителя; 2 — внутренний стакан, в котором размешен ротор; 3 — приводная траверса, вращающаяся вокруг центральной оси; 4 — приводной вал для планетарного вращения смешивающего устройства; 5 — рабочие валы со смесительными лопастями; 6 и 7 — электродвигатель с редуктором; 8 — подгребающая лопасть; 9 — очистные скребки; 10 — загрузочный люк в верхней крышке смесительной чаши; 11 — люк с пневмоприводом для выгрузки готовой смеси; 12 — система шестеренчатых передач от центрального вала к валам с планетарным вращением.

Раздельный или 2-х стадийный способ приготовления бетонных смесей заключается в том, что на первой стадии, путем высокоинтенсивной механической (или иной) обработки, готовят цементное тесто, а на 2-ой стадии его смешивают с заполнителями в бетоносмесителях.

Такая технология приготовления бетона сложнее традиционной, требуются специализированные бетоносмесители, обеспечивающие синхронность выполнения работ. Ее опытно-производственная апробация показала, что

применение дополнительных механизмов (высокоскоростных лопастных смесителей; роторных; с рабочим органом в виде вращающихся пружин и т.д.) для приготовления цементного теста (в ряде случаев – цементнопесчаного раствора) *в варианте дополнительного оборудования действующих БСУ* себя не оправдало. Требуются выполненные на высоком техническом уровне 2-х стадийные специализированные бетоносмесители.

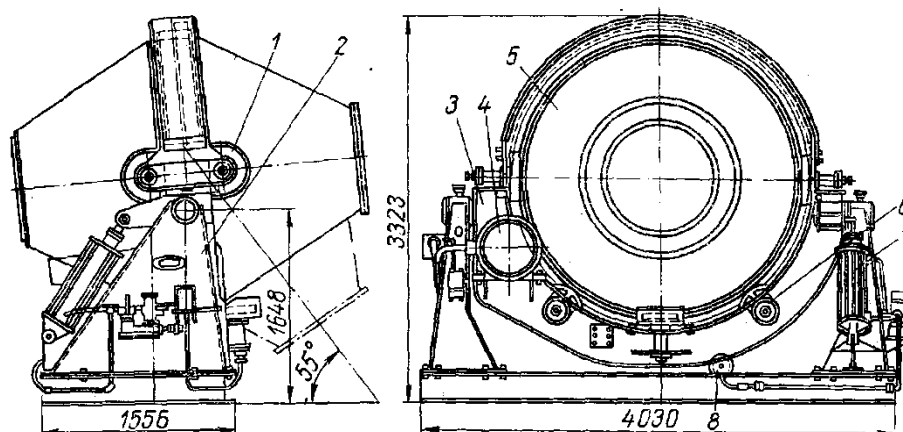


Рис. 59. Гравитационный бетоносмеситель с наклоняющимся барабаном:

1 – опрокидывающее устройство; 2 – станина; 3 – опорноприводное устройство; 4 – электродвигатель с редуктором; 5 – смесительный барабан; 6 – опорные ролики; 7 – пневмоцилиндр.

Одновременно с этим результаты научно-исследовательских и опытных производственных работ показали высокую эффективность отдельного способа приготовления бетона, обеспечивающего значительный рост его физико-механических и эксплуатационных свойств и характеристик. Так, прочностные характеристики тяжелого бетона по разным данным возрастают на 20...30%, а легкого бетона на заполнителях типа аглопорита (с открытой пористостью поверхности) – до 40...50%. Основу составляет рост плотности и прочности цементного камня, повышение качества и сил сцепления последнего с заполнителями (особенно таких, как аглопорит и ему подобные), а рост непроницаемости бетона способствует повышению его эксплуатационных свойств: морозо-, коррозионной стойкости, защитной способности по отношению к стальной арматуре, износоустойчивости и т.д. Необходимо отметить, что интенсивное механическое (или иное) воздействие на цементное тесто способствует росту эффективности химических добавок в бетоне, которые вводят в состав на 1-ой стадии. Установлено, что за счет более равномерного распределения их вещества и повышения однородности цементного теста при высокоинтенсивной обработке равный с традиционным приготовлением бетона эффект обеспечивается меньшим расходом пластификаторов, ускорителей твердения и других добавок.

Причина эффективности высокоинтенсивной обработки цементного теста заключается в *явлении активации цемента* (или – активизации его вяжущих свойств). Известно, что из-за высокого потенциала поверхности, сорбции паров воды из воздуха и частичной гидратации, а также действия сил тяжести, мельчайшие частицы вяжущего либо «объединяются» в агрегаты (флоккулы), либо сцепляются с поверхностью более крупных зерен, т.е. агрегатируются. При затворении водой и смешивании множество флоккул не распадается и на их общей внешней поверхности образуются сольватные (водные) оболочки с заземленным в межзерновом пространстве воздухом. Здесь уместно упомянуть, что при плотности клинкера $\sim 3,1$ кг/л, насыпная плотность цемента $\sim 1,0 \dots 1,1$ кг/л, т.е. в его объеме $2/3$ занимает воздух. Ограниченно растворимый в воде он препятствует ее контакту с поверхностью вяжущего внутри флоккул, выводя значительную часть его реакционноспособной поверхности из реакций между ними.

Высокоинтенсивное механическое (или иное) воздействие на систему «цемент-вода» способствует развитию процесса распада флоккул. Как следствие, в реакции взаимодействия вступает большая реакционноспособная поверхность вяжущего, равномернее распределяется вода, утоньшаются сольватные оболочки, удаляется воздух (не только вовлеченный в объем цементного теста при перемешивании, но и из межзерновых пространств распадающихся флоккул). В результате в объеме цементного теста, трансформирующегося в процессе твердения в цементный камень, образуется значительно большее количество кристаллогидратных новообразований – продуктов реакции цемента с водой. И, как следствие, формируется более плотная структура этих новообразований в цементном камне, а на этой основе – и бетона в целом.

Ультразвуковая активация цемента реализуется при воздействии ультразвуковых волн на пластичное цементное тесто. Под их воздействием в объеме цементного теста (а точнее – в воде затворения) проявляется эффект кавитации. На его первой фазе в объеме воды появляются разрывы сплошности в виде мельчайших сферических пузырьков, заполненных ее парами. Последующая мгновенная конденсация пара и его переход в жидкость проявляется в этой точке в эффекте гидравлического удара, оцениваемого специалистами в области гидравлики в десятки тысяч атмосфер. Множество таких гидроударов в объеме цементного теста не только вызывают распад цементных флоккул, но дробят (измельчают) зерна цемента, углубляя ранее описанные процессы, способствующие росту плотности и прочности (до $f_{cm}^{ц.к.} \geq 200$ МПа) цементного камня. Однако следует заметить, что для объемного проявления этого эффекта нужны очень мощные излучатели ультразвуковых волн. Несмотря на высокую эффективность такой обработки реализация данного технологического приема, очевидно, дело будущего.

«Вакуумная» активизация вяжущих свойств цемента является следствием сорбции (удаления) с поверхности зерен и из межзернового пространства его флоккул воздуха под влиянием создаваемого в объеме цементного теста (бетона) разрежения. В результате в контакт с водой вступает большая (чем без вакуумирования) реакционноспособная поверхность вяжущего, включая и внутренние поверхности зерен не распавшихся флоккул. Следствием является рост плотности и непроницаемости структуры цементного камня и бетона по ранее рассмотренной схеме, а на этой основе – всей совокупности физико-технических свойств и характеристик (например, прочность на сжатие возрастает на 20...40 %).

Для реализации данного технологического приема на стадии приготовления бетона разработаны опытные конструкции (образцов лабораторно-исследовательских) бетоносмесителей. На практике в большей степени этот прием реализуется обработкой свежееотформованного бетона из высокопластичных бетонных смесей (с удалением части воды затворения) путем использования жестких вакуумщитов (вакуумпригрузов для сборных изделий, например, тротуарных и иных плит (см. далее п. 7.5)) и гибких вакуумматов для обработки монолитного бетона. Последние применяются в основном при устройстве монолитных полов, дорожных и иных подобных покрытий и т.п.

Дозирование материалов организационно-технологически взаимосвязано с используемыми типами бетоносмесителей, то есть осуществляется и циклически, и непрерывно. Для заводов сборного железобетона характерна широкая номенклатура выпускаемой продукции, которую изготавливают по различающимся технологиям, с применением разнообразных форм, оборудования и условий формирования бетона. Как следствие, существенно различаются рецептура, классы и виды бетона, консистенция бетонных смесей, что предопределяет использование циклически действующих бетоносмесителей и соответствующего дозирующего оборудования. В отдельных случаях (в основном для приготовления товарного бетона (раствора) редко меняющихся составов) эксплуатируются комплексы с непрерывным приготовлением бетонных (растворных) смесей, комплектуемые соответствующим оборудованием.

Дозирование по весу в дозаторах циклического действия – основной вариант для заполнителей из твердых горных пород, воды, растворов химических и минеральных добавок.

Дозирование по объему необходимо при использовании легких пористых заполнителей, насыпная плотность которых может значительно отличаться, а также применимо для воды и водных растворов химических добавок.

Объемно-весовое дозирование заполнителей (а в ряде проектных решений БСУ - и цемента) реализуют при непрерывном приготовлении бетонных (растворных) смесей.

Во всех случаях при дозировании материалов должна обеспечиваться точность, с погрешностью не более: для цемента, воды, сухих добавок, рабочего раствора жидких добавок – 1% и тяжелых заполнителей – 2% по массе; пористых заполнителей по объему – 2% (СТБ 1035).

С этой целью дозирующее оборудование периодически поверяться надзорными службами на точность действия, не зависимо от способа дозирования материала.

Загрузку материалов в бетоносмеситель рекомендуется осуществлять в следующей последовательности:

а) для тяжелого бетона: крупный заполнитель → песок → пигмент (при наличии в составе) → цемент → минеральная добавка (при наличии в составе и отдельном дозировании) → вода затворения (водный раствор химической добавки рабочей концентрации (при наличии в составе));

б) для легкого бетона: крупный заполнитель → мелкий заполнитель → часть воды затворения (~ 50% ее дозирования) → цемент → оставшаяся часть воды затворения с вводимой в бетон химической добавкой (при наличии в составе).

При введении пигментов после заполнителей в работающий бетоносмеситель обеспечивается более качественное (равномерное) распределение их в объеме бетона и окрашивание последнего. Данная последовательность рекомендуется разработчиками и поставщиками красителей для бетона.

Введение химических добавок в виде раствора рабочей концентрации с водой затворения (см. далее раздел приготовление растворов добавок) способствует равномерному распределению их вещества в объеме бетона и эффективному использованию по целевому назначению.

В случаях 2-х стальной дозирования воды затворения рекомендуется вводить химические добавки со второй ее частью с целью повышения эффективности их использования. Особенно – при приготовлении легкобетонных смесей на пористых заполнителях.

Разогрев бетонных смесей на стадии их приготовления осуществляют с целью сокращения времени последующей тепловой обработки изделий, а также для обеспечения необходимого температурного режима для работы с бетоном в зимний период, включая производство товарного бетона для нужд монолитного строительства.

С этой целью используют комплексный подогрев крупного и мелкого заполнителей в сочетании с подогревом воды. В соответствии с действующими нормативными документами (ТКП 45-5.03-21-2006 (02250)) температура разогретой бетонной смеси не должна превышать 35 °С (на БТЦ и ПЦ М600 и выше – 30 °С; на глиноземистом цементе – 25 °С), при температуре воды, соответственно, не более 70 °С; 60 °С и 40 °С.

Эффективен прием разогрева бетонной смеси путем подачи в специализированный бетоносмеситель водяного пара, т.к. в этом случае (за счет конденсации пара при контакте с холодными твердофазными составляющими непосредственно в объеме перемешиваемой смеси) имеет место теплопередача путем «капельной» конденсации. Последняя характеризуется высокой эффективностью теплоотдачи и смесь быстро разогревается. Недостатками такого варианта приготовления бетона являются: сложность учета количества вводимой в бетон воды (конденсата) и изменения в этой связи его водоцементного отношения; сложность точности контроля температуры разогрева и необходимость использования специального смесительного оборудования, т.к. дооснащение традиционных бетоносмесителей не эффективно. Целесообразно использование специализированных бетоносмесителей.

При разогреве бетонной смеси требуется контроль за сохранением заданной формуемости (подвижности, жесткости), т.к. с ростом температуры и ускорением реакций взаимодействия цемента с водой повышается темп изменений ее консистенции (ухудшения ее формуемости во времени).

4.3 Транспортирование бетонной смеси к формовочным постам.

При транспортировании бетонных смесей должны соблюдаться следующие правила. По действующим нормативам не допускается более 2-х перегрузок; ограничивается высота сбрасывания свободным падением для тяжелого бетона ≤ 2 м и для легкого $\leq 1,5$ м (рекомендуется: 1,5 и 1,0 м, соответственно); не рекомендуется транспортирование бетонных смесей подвижностью более ОК=10см (т.е. марок ПЗ и выше) ленточными транспортерами. Все указанное связано с нежелательным эффектом расслоения бетонных смесей, которое сопровождается ухудшением свойств бетона.

Под *адресной подачей* бетона подразумевается транспортирование его от БСУ до места формования изделий без перегрузок. На рис. 60 приведена принципиальная схема адресной системы подачи бетона с использованием самоходных (приводных) тележек, которые перемещают бадьи-кюбели (с донной разгрузкой; рис. 61), либо бадьи с опрокидным бункером (разгрузкой на сторону; рис. 62).

Бетоновозные эстакады - наиболее широко распространенный на действующих заводах сборного железобетона вид организации подачи бетонных смесей от БСУ в формовочные пролеты. В компоновочных решениях разнообразных технологических линий, при изготовлении разных видов изделий по стендовой, агрегатно-поточной, конвейерной технологиям основным вариантом является расположение бетоновозных эстакад в первом поперечном пролете (оси № 1 и № 2) производственных корпусов предприятий (см. данные раздела 2; компоновочные решения технологических линий).

В подавляющем большинстве бетоновозные эстакады оснащены самоходными (приводными) телегами-бадьями донной разгрузки; реже – опрокидываемыми; в некоторых вариантах – ленточными конвейерами.

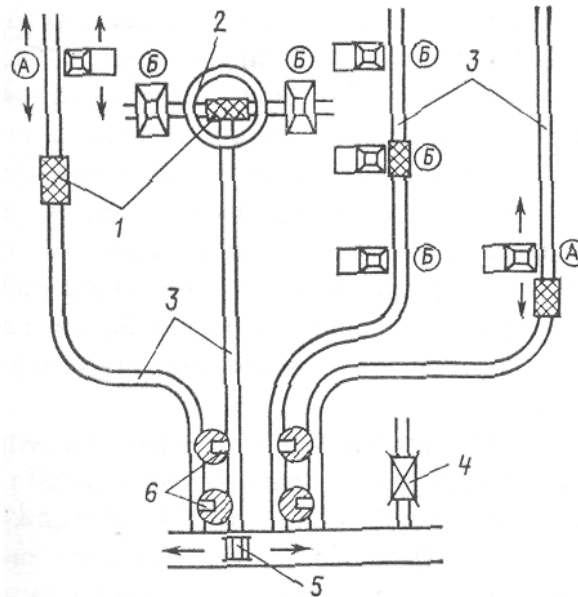


Рис. 60. Схема адресной системы подачи бетона

А — переменные посты остановки; Б — постоянные посты остановки; 1 - бетоновозные бадьи;

2 — карусельная передача; 3 — бетоно-транспортные пути; 4 — ремонтная тележка; 5 — поперечная передача; 6 — смеситель бетона

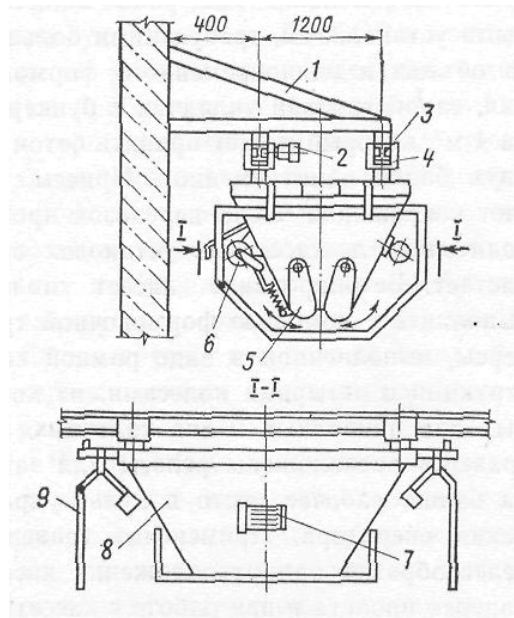


Рис. 61. Бадьи с донным люком

1 — несущая конструкция; 2 — приводная тележка; 3 — бетонотранспортный путь; 4 — не-приводная тележка; 5 — секторный затвор; 6 — привод затвора; 7 — вибратор; 8 — бункер; 9 — дуга безопасности

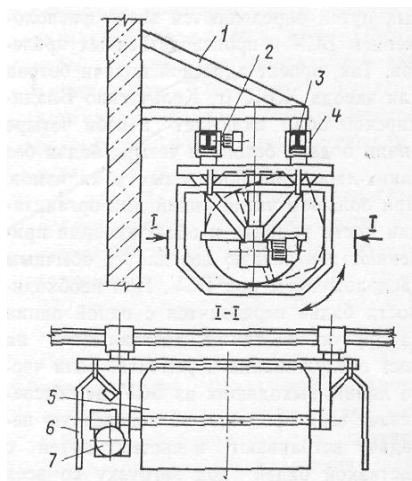


Рис. 62. Бадья с опрокидным бункером

1 — несущая конструкция; 2 — приводная тележка; 3 — бетонотранспортный путь; 4 — не-
 приводная тележка; 5 — опрокидной бункер; 6 — дуга безопасности; 7 — привод поворота бункера

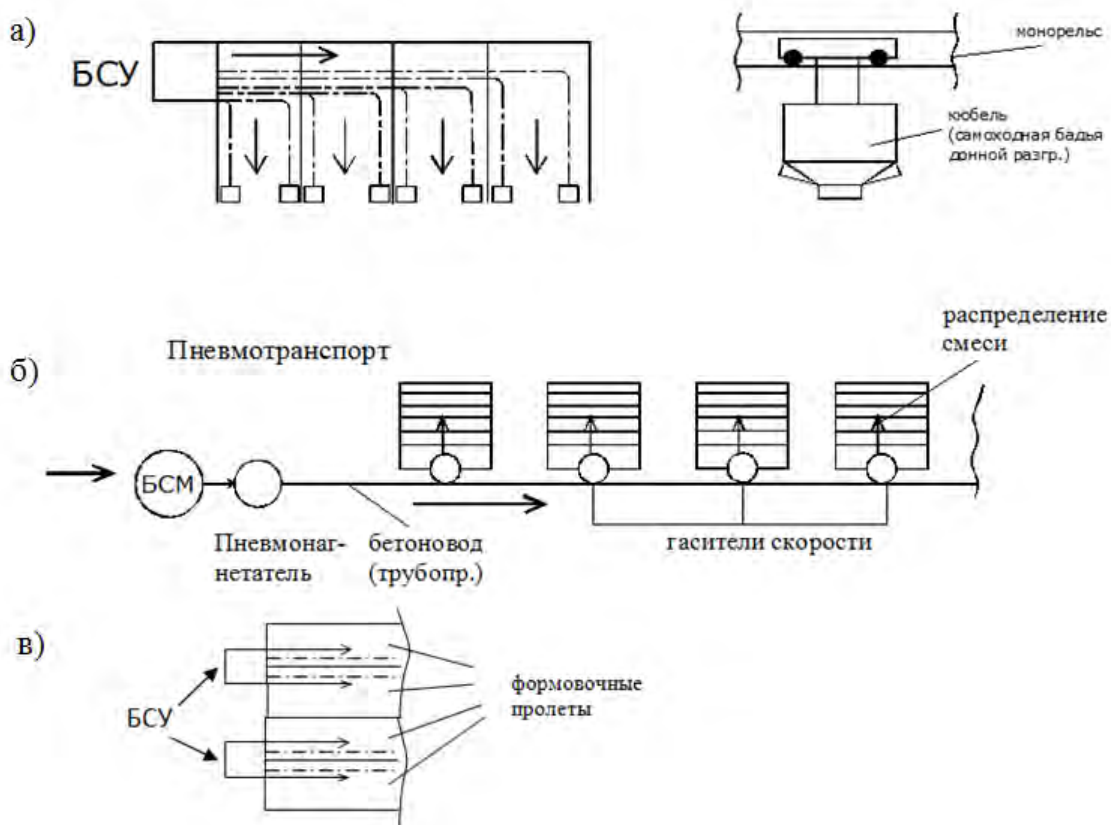


Рис. 63. Варианты схем адресной подачи бетонных смесей:

а) по монорельсам с помощью самоходных подвесных бадей; б) подача нагнетательным ме-
 тодом с помощью системы пневмоподачи; в) подача бетона ленточными транспортерами.

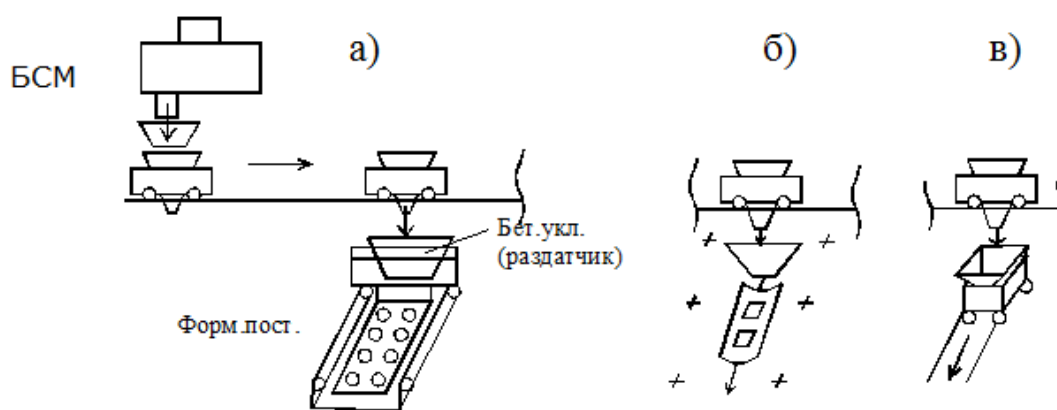


Рис. 64. Варианты схем подачи бетонных смесей бетоновозными эстакадами:

а) с подачей в бетоноукладчики (бетонораздатчики); б) с последующим транспортированием в цеху к месту формирования; в) с подачей в съемную бадью самоходную для последующего транспортирования к месту формирования.

Бетонная смесь в местах перегрузки (рис. 64) поступает в емкости принимающих устройств:

- по варианту а) рис. 64 – в бункеры бетоноукладчиков (бетонораздатчиков);

- по варианту б) – через приемно-раздаточное устройство на ленточный конвейер (либо в самоходную бадью), которыми смесь подается к месту формирования;

- по варианту в) – в съемную самоходную бадью с последующей подачей к месту формирования с помощью крана.

- по варианту в) рис. 63 – при специализированном расположении БСУ с адресной подачей бетона к местам формирования самоходными бадьями (или иным способом).

4.4 Особенности приготовления бетонных смесей с химическими добавками.

4.4.1 Химические добавки в бетон.

Применение химических добавок в бетон различного назначения в Беларуси регламентируется положениями СТБ 112-98 «Добавки для бетонов. Общие технические условия», ГОСТ 30459-96 «Добавки для бетонов. Методы определения эффективности» и пособием П-1-99 «Применение добавок в бетоне».

В заводской технологии изготовления бетонных и железобетонных изделий наиболее широко применяют далее рассмотренные группы химических

добавок из того их многообразия, которое отражено в СТБ 1112. При их рассмотрении приведены в первом приближении (т.е., упрощенно) особенности влияния разных видов добавок на процессы взаимодействия цемента с водой, изменение в их присутствии свойств цементного теста, бетонной смеси, влияние разных добавок на кинетику твердения цементного бетона и формирование его структуры и свойств. Необходимо отметить, что детальное рассмотрение «механизма» действия тех, или иных видов химических добавок – это предмет объемных исследований, которые постоянно развиваются, расширяются и совершенствуются. На данном этапе освоения предмета приведена информация, необходимая для понимания существа эффективности добавок в цементном бетоне.

Пластифицирующие добавки в общем случае – это вещества, увеличивающие подвижность (формуемость, удобоукладываемость) бетонных смесей. Основу эффекта пластификации составляют присутствующие в них поверхностно-активные вещества (ПАВ). Согласно положениям физической химии (из теории поверхностных явлений) концентрация ПАВ в водной среде выше у поверхности раздела фаз «твердое тело – жидкость» и «жидкость – газообразная среда», чем в объеме раствора.

В цементном тесте поверхность раздела фаз – это зона контакта поверхности зерен (флоккул) цемента и воды затворения, которая в цементном бетоне дополняется зоной контакта воды с поверхностью заполнителя и механических примесей (пыль и пр.).

Известно, что поверхность твердой фазы (и, в первую очередь, наиболее дисперсной составляющей бетона – цемента) имеет избыточный заряд, благодаря которому при контакте с водой вокруг ее частиц формируются водные сольватные оболочки. Молекулы растворенных в воде ПАВ (в случае гидрофобных ПАВ – не в растворе, а в эмульсии) концентрируются у поверхности частиц цемента. В первую очередь – у ее «активных» центров, т.е. у мест с наибольшими величинами заряда поверхности. Это могут быть выступы, трещины на поверхности частиц цемента, а также «выходы» на их поверхность наиболее активных минералов, в частности, $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A). Блокируя (частично) потенциал поверхности вяжущего (и зерен твердой фазы в бетоне в целом) пластифицирующая добавка снижает ее способность удерживать воду. Часть жидкости диффузных (внешних) слоев сольватных оболочек переходит в свободное состояние, обеспечивая эффект пластификации.

Эта упрощенная схема позволяет объяснить два следствия введения в бетон пластификаторов. Во-первых, наличие очевидного оптимума (разного по величине для разных веществ) расхода добавок-пластификаторов. Это связано с тем, что для проявления их эффективности достаточно заблокировать активные центры поверхности твердой фазы. Дальнейшее увеличение расхода добавки не рационально как с экономических позиций, так с учетом побоч-

ного эффекта – торможения процессов гидратации, схватывания и твердения (роста прочности) цемента и цементного бетона.

Это второе следствие вызывает необходимость увеличения времени предварительной выдержки бетона с добавками-пластификаторами перед началом тепловой обработки изделий, либо увеличения времени твердения их в естественных (или нормально-влажностных) условиях из-за снижения темпа роста прочности бетона. Причина - в замедлении процесса гидратации цемента, т.к. молекулы ПАВ препятствуют доступу молекул воды к поверхности цемента и тем в большей степени, чем выше дозировка добавки-пластификатора и ниже ее качество (см. далее раздел – группы пластифицирующих добавок).

Эффективность применения в бетоне добавок – пластификаторов проявляется:

- в снижении трудозатрат и энергоемкости при формировании изделий за счет повышения формуемости (удобоукладываемости) бетонной смеси;
- в снижении энергозатрат при тепловой обработке за счет уменьшения начального водосодержания (В/Ц) при сохранении равноподвижности бетонной смеси;
- в повышении плотности, прочности и эксплуатационных свойств бетона за счет снижения его пористости с понижением (В/Ц);
- в экономии цемента (с понижением (В/Ц) при постоянстве прочности на исходном уровне).

Вместе с тем при их применении следует учитывать *побочные эффекты*:

- замедленное схватывание и необходимость увеличения времени предварительной выдержки;
- замедление роста прочности бетона, твердеющего в нормальных температурных условиях;
- дополнительное воздухововлечение в бетонную смесь, что может отразиться в ухудшении качества поверхности изделий и снижении прочности бетона.

Пластифицирующие добавки делятся (СТБ 1112) на 4 группы. К 1-ой группе (суперпластификаторы (СП)) относятся добавки, обеспечивающие увеличение подвижности бетонной смеси от П1 (осадка конуса от 1 до 4 см) до П5 ($OK \geq 21$ см) без снижения прочности бетона в возрасте 28 суток. Подвижность смеси основного состава в течение 45 минут не должна снизиться более чем в 2 раза.

Рекомендуется дозировка ~ 0,5...1,0 % от массы цемента (МЦ) по сухому веществу.

Примеры маркировки добавок 1-ой группы: «С-3»; «СП-1» и др. (фирмы «Полипласт», Россия – Беларусь); «Стахемент М» и др. (ф-мы «Стахема-М»,

Чехия-Беларусь); «Sikament-N(FF)» и др. (ф-мы «Sika», Швейцария), и другие добавки указанных и иных фирм-производителей.

В эту группу входят добавки, получившие название «гиперпластификаторы» (ГП), которые обеспечивают рост осадки конуса от марки «П1» до марки «П5» и обладают повышенным водоредуцирующим эффектом (снижение водосодержания до 30...40%). Использование этих добавок обеспечивает получение «самоуплотняющихся» бетонов с характеристикой расплыва конуса более 60 см (РК6).

Примеры маркировки «гиперпластификаторов»: «Реламикс ПК» (ф-ма «Полипласт», Россия – Беларусь); «Стахема 2000», ф-ма «Стахема-М»; Чехия-Беларусь); «Sika-ViscoCrete» (ф-ма «SiKa», Швейцария); «FOX-8Н» (ф-ма «FOX», Англия) и другие.

Ко 2-ой группе пластифицирующих добавок относятся вещества, увеличивающие подвижность бетонной смеси от П1 (осадка конуса от 1 до 4 см) до П4 (ОК – 16...20 см). Допускается снижение прочности бетона в возрасте 28 суток не более чем на 5 %.

Виды и маркировки добавок: оплассан, СПС (г. Новополоцк), а также разновидности веществ, классифицируемых как добавки-пластификаторы 2-ой группы производства перечисленных ранее и других фирм. По преимуществу это добавки с комплексным пластифицирующе-ускоряющим твердение бетона эффектом. Они, как правило, содержат в своем составе дополнительный компонент ускорителя твердения бетона. Например, «Стахемент F-Ж35» (ф-мы «Стахема-М») или «Sika-ViscoCrete-20HE» (ф-мы «Sika») и другие. Рекомендуемая дозировка этих добавок: 0,5...1,2 % от массы цемента по сухому веществу.

К 3-ей группе пластифицирующих добавок относятся вещества, увеличивающие подвижность бетонной смеси от П1 (осадка конуса от 1 до 4 см) до П3 (ОК – 10...15 см). Допускается снижение прочности бетона в возрасте 28 суток не более чем на 10 %.

Виды и маркировка добавок: модифицированные лигносульфанаты - ЛСТМ-2; МЛСТ; НИЛ-20 и другие, при рекомендуемой дозировке: 0,1...0,25% от МЦ по сухому веществу.

К 4-ой группе пластифицирующих добавок относятся вещества, увеличивающие подвижность бетонной смеси от П1 (осадка конуса от 1 до 4 см) до П2 (ОК – 5...9 см). Допускается снижение прочности бетона в возрасте 28 суток не более чем на 10 %.

Виды и маркировка добавок: ЛСТ, ЩСПК и ЩСПК(м) («Азот», г. Гродно) и др., при рекомендуемой дозировке 0,05...0,2 % (ЩСПК – 0,1...0,35 %) от МЦ по сухому веществу.

Воздухововлекающие добавки: СНВ (смола нейтрализованная воздухововлекающая); СДО (смола омыленная древесная); С (сульфонол); ОП (вспомо-

гательный препарат), понижают силы поверхностного натяжения воды и в процессе перемешивания бетонной смеси способствуют увеличению количества вовлекаемого в ее объем воздуха. Рационально, чтобы размеры «ячеек» (т.е. сферических воздушных пор) не превышали $\varnothing_{opt} \sim 0,25$ мм. Увеличение размеров создаваемой замкнутой ячеистой пористости приводит к снижению прочности цементного камня и бетона и снижает эффективность использования добавки по другим целевым назначениям.

Основной целью их применения является понижение величины водопоглощения бетона и повышение его водонепроницаемости, морозо-, солестойкости.

Эти эффекты обеспечиваются, во-первых, тем, что «ячейки» воздушных замкнутых пор рассекают (уменьшают) длину каналов капиллярной и контракционной пористости цементного камня, тем самым снижая величину капиллярного подсоса. Во-вторых, вещество добавок гидрофобизирует стенки ячеек и капилляров, что вместе взятое снижает проницаемость и водопоглощение бетона. Т.е., в его объем поступает меньшее количество воды (солей) извне, а вместе с ней – и агрессивных реагентов.

В-третьих, замкнутые поры способствуют увеличению периода накопления свободной (замерзающей с увеличением объема) воды и солей в объеме бетона, снижая напряжение от переменного замораживания - оттаивания (а при воздействии солей: насыщения – высушивания).

Следует отметить, что эти добавки наиболее эффективны в бетонах низких классов, характеризующихся значительным начальным водосодержанием (В/Ц) и пористостью. В бетонах высокой прочности ($f_{cm} \geq 60 \dots 70$ МПа) и плотности (водопоглощение по массе $W_m \leq 3$ %) их применение не рекомендуется, т.к. они существенно снижают прочность бетона, а с ней – способность сопротивляться внешним механическим воздействиям и внутренним напряжениям от знакопеременных деформаций, возникающих при попеременном замораживании-оттаивании или насыщении-высушивании бетона. Кроме этого не проявляют в полной мере ранее приведенных эффектов, т.к. бетон высокой плотности малопроницаем для воды и агрессивных реагентов (например, солей) из внешней среды и процесс его разрушения в большей степени зависит от накопления внутренних усталостных нарушений структуры, чем, например, от замерзания «свободной» воды. Структура особо плотного, высокопрочного бетона характеризуется микрокапиллярной пористостью (см. п. 8.1), в которой вода находится в адсорбционносвязанном состоянии при плотности $\rho_v > 1,0$ г/см³. Замерзая даже при очень низкой температуре (-50 °С и более) она образует лед с плотностью $\rho_{л} > 1,0$ г/см³. То есть, такая жидкость замерзает без увеличения в объеме относительно исходного и не оказывает давления на стенки капилляра, в котором находится. Поэтому

введение в высокоплотный бетон воздухововлекающих добавок (особенно – с гидрофобным эффектом) не рационально.

Рекомендуемая дозировка воздухововлекающих добавок соответствует 0,005-0,035 % от МЦ по сухому веществу.

Побочные эффекты от их применения: незначительный пластифицирующий эффект; замедление процесса схватывания; снижение темпа роста и уровня прочности бетона, включая прочность в проектном (28 сут) и более позднем возрасте; значительное увеличение времени предварительной выдержки (до 4-6 ч).

Газообразующие добавки: ПАП – пудра алюминиевая; ПА – паста алюминиевая; ГКЖ – 94 и 94 М, применяют для поризации бетона с разным целевым назначением. Пудра и паста алюминиевые (ПАП и ПА) в результате реакции со щелочью $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном тесте выделяют водород, который образует ячеистую замкнутую пористость в цементном тесте (камне) и бетоне для снижения средней плотности бетона и повышения его теплозащитной функции (за счет снижения теплопроводности). Дозировка этих добавок составляет 0,01-0,03 % от МЦ.

Добавки ГКЖ-94 (94 М) содержат в своем веществе активный водород (H^+), который выделяется в щелочной среде цементного теста, образуя замкнутые ячеистые поры. Кремнийорганическая жидкость «ГКЖ» не растворима в воде и для ее применения готовят эмульсию. Вещество этой добавки гидрофобно и проявляемые ей эффекты в цементном бетоне соответствуют приведенным в разделе воздухововлекающих добавок.

Дозировка ГКЖ-94 (94М) соответствует 0,03-0,08 % от МЦ по сухому веществу.

Побочные эффекты: замедление схватывания; снижения темпа роста и уровня прочности бетона; увеличение времени предварительной выдержки (до 4-6 ч).

Добавки гидрофобизирующие: жидкости гидрофобизирующие ГКЖ-94 (94М), ГКЖ10(11); ПГЭН, мылонафт и др., механизм действия которых основывается на их свойстве не растворяться в воде, но при этом с высокой энергией связи адсорбироваться на поверхности зерен цемента в начальный период его твердения и на поверхности пор затвердевшего цементного камня. Благодаря своим гидрофобным свойствам препятствуют доступу воды в бетон и снижают водопоглощение и проницаемость бетона. Пригодны не только в качестве добавок в бетон, но и для внешней гидрофобизации поверхности затвердевшего бетона бетонных (железобетонных) изделий и конструкций.

Согласно СТБ 1112-98 гидрофобизирующие добавки подразделяют на три группы, в зависимости от уровня снижения водопоглощения бетона через

28 суток твердения: в 5 и более раз – I группа; в 2-4,9 раза – II группа и в 1,4-1,9 раза – III группа.

На ранней стадии твердения замедляют схватывание и рост прочности бетона. Наряду с патокой кормовой (ПК), тетраборатом натрия (бура; ТБН) и лигносульфанатами техническими (ЛСТ) могут служить в качестве добавок, замедляющих схватывание и потерю подвижности бетонных смесей.

Рекомендуемая дозировка при основном назначении соответствует 0,03-0,06 % от МЦ по сухому веществу; при использовании в качестве замедляющих процесс схватывания, например, для ГКЖ-10(11) ее увеличивают до 0,1-0,2 % от МЦ. В основном этот технологический прием используют при приготовлении товарного бетона для монолитного строительства. В частности, при транспортировании бетонных смесей продолжительное время как при повышенной температуре наружного воздуха, так и в любое иное время года при ее разогреве на стадии приготовления более 20 °С.

Добавки, уплотняющие структуру бетона (кольматирующие), подразделяются на вещества органического происхождения: ДЭГ-1 (диэтиленгликолевая смола); ТЭГ-1 (триэтиленгликолевая смола); С-89 (полиаминная смола); БЭ (битумная эмульсия), и неорганические: СА ($Al_2(SO_4)_3$) – сульфат алюминия, СЖ ($Fe_2(SO_4)_3$) – сульфат железа, ХЖ ($FeCl_3$) – хлорид железа, НК ($Ca(NO_3)_2$) – нитрат кальция.

Органические вещества не вступают в химическое взаимодействие с цементом и продуктами его гидратации. В процессе твердения цемента молекулы этих веществ «отжимаются» в формирующуюся пористость цементного камня (бетона), заполняя (кольматируя) поры и уплотняя структуру бетона. Частично имеет место «защемление» молекул в структуре кристаллогидратных новообразований цементного камня. Поэтому следствием является повышение ударной вязкости бетона, но при этом снижается его модуль упругости и растет ползучесть. Эти эффекты следует учитывать при применении данных добавок.

Дозировка добавок этой группы не должна превышать 1,5 % от МЦ по 20 сухому веществу.

Неорганические вещества уплотняющих добавок, являются истинными электролитами и способны вступать в водной среде в обменные реакции с продуктами гидратации цемента (гидроокисью кальция и продуктами гидролиза аллюминатов и аллюмоферритов кальция, гипса). В результате образуются нерастворимые в воде соединения, характеризующиеся большим объемом, чем исходный объем вступающих в реакцию компонентов. В результате этих реакций происходит заполнение (кольматация) формирующейся пористости цементного камня и растет плотность бетона в целом.

Дозировка добавок неорганической группы составляет до 3 % от МЦ по сухому веществу.

При их использовании в железобетоне следует учитывать ограничения, рассмотренные далее в разделе ускорителей твердения бетона. Кроме этого, ряд этих добавок (в частности, Fe_2Cl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в дозировке $\geq 1,0$ % от МЦ способны вызывать ускоренное схватывание цемента и потери подвижности бетонных смесей.

Добавки ускоряющие твердение: сульфат натрия – СН (Na_2SO_4); хлористый кальций – ХК (CaCl_2); нитрат кальция – НК ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) и др., в основном применяют с целью повышения темпа роста прочности бетона (особенно в первые 1-3 сут) и ускорения оборота форм, а также для снижения энергетических затрат на ускорение твердения бетона при тепловой обработке изделий.

Способствуют (в рекомендуемых дозировках) росту прочности бетона, твердеющего при положительной температуре (≤ 20 °С) до 40-90 % в возрасте 1-3 сут и на 5-10% к проектному возрасту (28 сут).

Эффективность при тепловой обработке бетона рассмотрена в разделе «Энергосберегающие технологии» (см. п. 8.4).

Механизм воздействия на процессы гидратации и твердения цемента у разных веществ этой группы добавок имеет и общие, и отличающиеся черты. Обобщенно их эффективность связана с тем, что все они являются истинными электролитами, т.е. в водной среде распадаются на ионы. Благодаря этому возрастает способность жидкой фазы к диспергации цементных флоккулов (иногда в технической литературе используют термин «пептизация») и вовлечению во взаимодействие с водой дополнительной реакционной поверхности вяжущего. С другой стороны, наличие в воде ионов вещества добавок способствует ускорению гидролиза клинкерных минералов и их последующей гидратации. Кроме этого, вещества ряда добавок способны вступать в обменные реакции с продуктами гидролиза цемента (гидроокисью кальция, алюминатной и алюмоферритной составляющей, гипсом) с образованием дополнительных соединений, что в целом повышает плотность формирующейся структуры цементного камня, а на этой основе повышается темп роста и уровень прочности бетона. Как отражение роста плотности бетона эти добавки при равноподвижных смесях на 0,5-1 ступень повышают водонепроницаемость и морозостойкость бетона и на 5-10 % его прочность в проектном возрасте.

Рекомендуемая дозировка этого вида добавок – до 1 % от МЦ по сухому веществу. Допускается дозировать их до 2 % от МЦ для бетонных изделий, если нет ограничений по образованию высолов на их поверхности (в основном – для Na_2SO_4), а также с учетом приведенных далее ограничений.

1) Добавки содержащие в составе хлор-ион (Cl^-) запрещаются к применению по пособию П1-99 к СНиП 3.09.01-85:

- в преднапряженном железобетоне;

- наличия арматуры из стали группы III;
- с рабочей арматурой диаметром ≤ 5 мм и целом ряде других ограничений при эксплуатации изделий в агрессивных средах и т.д. Следует отметить, что в действующем на территории Беларуси СТБ-EN 206-1 применение добавок с ионом хлора запрещено не только для железобетона, но и в бетонных изделиях, если в них есть «заделанный металл» (т.е. фиксаторы, закладные детали и др.). Причина запретов к применению заключается в высокой агрессивности «Cl⁻» к металлу и в том, что хлор-ион ограниченно связывается продуктами гидролиза цемента в нерастворимые соединения (по разным источникам $\leq 0,02-0,2$ % от массы цемента) и естественно вызывает коррозию стальной арматуры.

2) С позиций коррозионного растрескивания термически упроченной стали опасны добавки, содержащие нитрат-ион (NO_3^-), с соответствующим ограничением к применению в железобетоне.

3) В целом вся группа ускорителей твердения, а также добавки иных групп, являющиеся истинными электролитами (СА; СЖ; ХЖ; НК; ТБН; БХН; БХК и др.), запрещены к применению для бетонных и железобетонных изделий и конструкций, которые эксплуатируются в среде действия постоянного электрического тока, а также в любых иных условиях, если в заполнителе есть включения реакционноспособного кремнезема (т.е. SiO_2 в аморфной форме). Причина – как в коррозии стальной арматуры, так и в коррозии бетона из-за катализации ионами добавок взаимодействия щелочи ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) цементного камня с кремнеземом заполнителей. Образующиеся в последнем случае продукты реакции имеют больший объем, чем исходные и разрушают бетон по зоне контакта «цементный камень – заполнитель», снижая его прочность (вплоть до полной потери несущей способности конструкций).

Таким образом, из группы химических добавок, ускоряющих твердение цементного бетона, наименее опасны и наиболее широко применяются сульфат натрия (СН; Na_2SO_4) и нитрат кальция (НК; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$).

Добавки, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре (ингибиторы коррозии стали) представлены веществами: нитрат натрия (НН; NaNO_2); тетроборат натрия (ТБН; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$); бихромат натрия (БХН; $\text{Na}_2\text{CrO}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); бихромат калия (БХК; K_2CrO_7); катапин-ингибитор (КИ-1).

Механизм действия этих веществ, являющихся истинными электролитами, разноплановый. Некоторые, из входящих в их состав веществ, способны создавать защитную пленку на поверхности металла, но в большей степени коррозию предотвращает присутствие их ионов в приарматурной зоне, в жидкости, заполняющей поры цементного камня. Они «блокируют» доступ агрессивных ионов – окислителей (кислород, хлор и др.) к стали, предотвращая развитие коррозионного процесса. С течением времени при высыхании

бетона (т.е. уменьшении количества жидкой фазы в его порах) и карбонизации защитного слоя, а также связывании вещества добавок в иные соединения эффективность их действия снижается.

Рекомендуемая дозировка добавок этой группы зависит от степени агрессивности эксплуатационной среды и для сильноагрессивных сред достигает 3 % от МЦ по сухому веществу.

Противоморозные добавки в бетон представлены веществами: нитрит натрия (НН; NaNO_2); нитрат кальция (НК; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$); поташ (П; K_2CO_3); хлористый кальций (ХК; CaCl_2); нитрит-нитрат кальция (ННК; $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$); нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК; $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaCl}_2$); формиат натрия (натриевая соль муравьиной кислоты; ФН; HCOONa); ацетат натрия (натриевая соль уксусной кислоты; АН; CH_3COONa).

Приведенные вещества – истинные электролиты, и, растворяясь в воде, изменяют ее структуру таким образом, что их растворы не замерзают при температуре ниже 0°C . Естественно, что уровень понижения точки замерзания зависит от концентрации раствора и вида вещества.

Рационально использовать противоморозные добавки в сочетании с пластификаторами 1-ой группы. Так как в этом случае в меньшем количестве воды затворения (при обеспечении равноподвижности бетонной смеси) концентрация противоморозной добавки будет выше. Следует учитывать, что по действующим в Беларуси нормативам (которые соответствуют в данном положении международным) общее количество вводимых в бетон химических добавок (любых групп, используемых одновременно) не должно превышать 5 % от МЦ по сухому веществу.

Противоморозные добавки в основном используют при приготовлении товарного бетона для монолитного строительства. Необходимо учитывать, что их вещества ограничено связываются продуктами гидратации цемента. Поэтому бетон подвержен высолообразованию, снижаются его физико-механические и эксплуатационные свойства, ухудшаются условия последующей отделки поверхностей конструкций. Более целесообразным, с позиций качества бетона и строительства, является подогрев бетонных смесей на стадии их приготовления (допускается до $35-40^\circ\text{C}$), обеспечивая тем самым надлежащие условия ведения бетонных работ без использования противоморозных добавок.

Весьма эффективен вариант замены противоморозных добавок путем введения в товарный бетон для монолитного строительства комплексной добавки – суперпластификатора и ускорителя твердения (например, сульфата натрия (Na_2SO_4)). Такой комплекс обеспечивает, во-первых, понижение температуры бетонной смеси до $-(2...3)^\circ\text{C}$ без ее замерзания, т.е. обеспечивает условия ее транспортирования на объект. А во-вторых, эффективен при по-

следующем прогреве (обогреве) бетона, т.к. способствует ускоренному росту его прочности и обороту опалубки.

В таблице 3 приведены характеристики побочных эффектов противоморозных добавок в бетон.

Таблица 3.

№ п/п	Наименование	Формула	Усл. обозначение	Побочный эффект
1	2	3	4	5
1.	Нитрит натрия	NaNO_2	НН	ингиб. корр. ст.
2.	Нитрат кальция	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	НК	уплотн., ускор. тв.
3.	Нитрит-нитрат кальция	$\text{Ca}(\text{NO}_2)_2^+$ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	ННК	ингиб., слабый ускор. твердения
4.	Хлористый кальций	CaCl_2	ХК	ускор. схват. и тверд., коррозия стали
5.	Нитрит-нитрат-хлорид кальция		ННХК	ускоряет твердение
6.	Поташ	K_2CO_3	П	сильный ускоритель схватывания
7.	Мочевина	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	М	слабый ускоритель твердения
8.	Комплексные добавки на основе ранее приведенных		НН+ХК; НК+М и др.	в зависимости от составляющих
9.	Формиат натрия	HCOONa	ФН	нейтральный
10.	Ацетат натрия	CH_3COONa	АН	нейтральный

Добавки, замедляющие потерю подвижности (формуемости) бетонных смесей, характеризуются повышенной способностью адсорбироваться на поверхности частиц цемента (вплоть до хемосорбции), чем существенно замедляют процессы его гидратации и схватывания. Одновременно понижают темп роста прочности (включая проектный (28 сут) и более поздний возраст), что необходимо учитывать при их применении.

С этой целью используют добавки: лигносульфанаты технические (ЛСТ, в дозировке $\geq 0,2$ % от МЦ); кормовую патоку (КП, в дозировке 0,05-0,25 % от МЦ); тетраборат натрия (бура; ТБН, в дозировке 0,2-0,5 % от МЦ), все – по сухому веществу.

Комплексные добавки – химические вещества, обладающие полифункциональным действием и содержащие в своем составе две и более однокомпонентные добавки. Цель их применения: придать рациональное сочетание воздействий на бетонную смесь или на свойства затвердевшего бетона. В их состав входят, например, пластифицирующие и ускорители твердения; пластифицирующие и воздухововлекающие; уплотняющие структуру и замедляющие потерю подвижности; ускорители твердения и ингибиторы коррозии стали и прочие сочетания. В современных условиях все большее количество химических добавок в бетон полифункционально, т.е. являются комплексными добавками.

4.4.2 Приготовление, контроль качества и введение в бетон растворов добавок.

Химические добавки могут поступать на предприятие в виде твердофазного вещества (например, сухого порошкообразного Na_2SO_4 , либо комкообразного CaCl_2); в виде концентрированной ($\sim 30..40$ %) жидкости (например, разнообразных добавок-пластификаторов), а также в высококонцентрированном (≥ 50 %) состоянии в виде паст (например, СНВ, СДО и др.).

Перед приготовлением растворов добавок следует определить содержание в поступившем продукте сухого вещества по методике СТБ 1112. Ее сущность заключается в определении потерь массы 2-х проб вещества (расхождение между ними $\leq 0,3\%$), взятых в количестве $(2 \pm 0,2)$ г и высушенных при $t=(105\pm 5)^\circ\text{C}$ (или иной для конкретного вида добавки) до постоянной массы ($\Delta m \leq 0,002$ г).

При приготовлении растворов добавок различают растворы рабочей и повышенной концентрации.

Раствором рабочей концентрации является водный раствор добавки, который дозируют и вводят в бетон как воду затвердения. То есть, при подборе его концентрации вещество добавки растворяют в воде в количестве, соответствующем принятой дозировке данной добавки в бетон. Такой вариант удобен при постоянном составе производимого бетона и практикуется (в основном) для непрерывного способа его приготовления.

Основным для технологии заводского изготовления бетонных и железобетонных изделий является вариант приготовления растворов химических добавок *повышенной концентрации*. Ее назначает лаборатория предприятия, исходя из конкретной потребности и условий ведения работ, а также с уче-

том величины рекомендуемой дозировки в бетон конкретного вида химической добавки. В этой связи, чем меньше рекомендуемая дозировка химической добавки в бетон, тем ниже должна быть концентрация ее раствора, а значит – большим объем (масса) его дозирования, и наоборот. Причина - в точности дозирования малых объемов (массы) и опасности передозировки добавок, особенно которые вводят в бетон в малых количествах, например, воздухововлекающие. Таких, как СНВ, СДО и др., дозируемые в тысячных долях процента от массы цемента.

В общем случае рекомендуемые значения концентрации растворов соответствуют от $\leq 5\%$ (для воздухововлекающих добавок) до $\leq 20\%$ для уплотняющих структуру бетона, ингибиторов коррозии стали и противоморозных добавок, которые вводят в бетон в большем количестве – до 3% и до 5% от массы цемента, соответственно.

Контроль качества приготовления концентрации растворов осуществляют двухступенчато: путем контроля количества растворяемой добавки в известном количестве воды (начальный контроль), а также последующего определения плотности приготавливаемого раствора (ρ_t , кг/л). При этом учитывают изменения плотности раствора (снижение с ростом температуры раствора и наоборот) одной и той же концентрации по зависимости:

$$\rho_t = \rho_{20} - A(t - 20), \text{ кг/л}, \quad (1)$$

где: ρ_{20} – плотность раствора вещества дозируемой химической добавки (справочные (или определяемые лабораторией предприятия) данные для конкретного вида добавки);

A - поправочный коэффициент соответствующего химического вещества (или вида) добавки для определенной концентрации ее раствора (C_p).

В случае отсутствия величин поправочного коэффициента « A » (при использовании комплексных химических добавок из нескольких составляющих) закономерность изменения плотности раствора в зависимости от температуры можно определить опытным путем. Для этого в известном количестве воды растворяют требуемое для получения заданной концентрации (C_p , %) раствора количество сухой добавки и определяют его плотность при 20 °С (ρ_{20} , кг/л). Затем, используя водяную баню, оценивают ее изменение при нагреве и остывании (например, с интервалом в 5 °С). Установленную закономерность изменения « $\rho_t - t$ » используют при приготовлении растворов добавки для работы с ней.

Приготовление растворов добавок осуществляют на специализированных участках, оснащенных необходимым оборудованием, коммуникациями

для подвода сжатого воздуха, пара, электроэнергии, транспортирования воды, растворов добавок и т.д., включая все необходимые мероприятия для соблюдения правил производственной санитарии, техники трудовой и экологической безопасности при работе с химическими добавками (веществами).

На рис. 65 приведена принципиальная схема оснащения и работы участка по приготовлению, подаче на БСУ и введения в бетон растворов химических добавок.

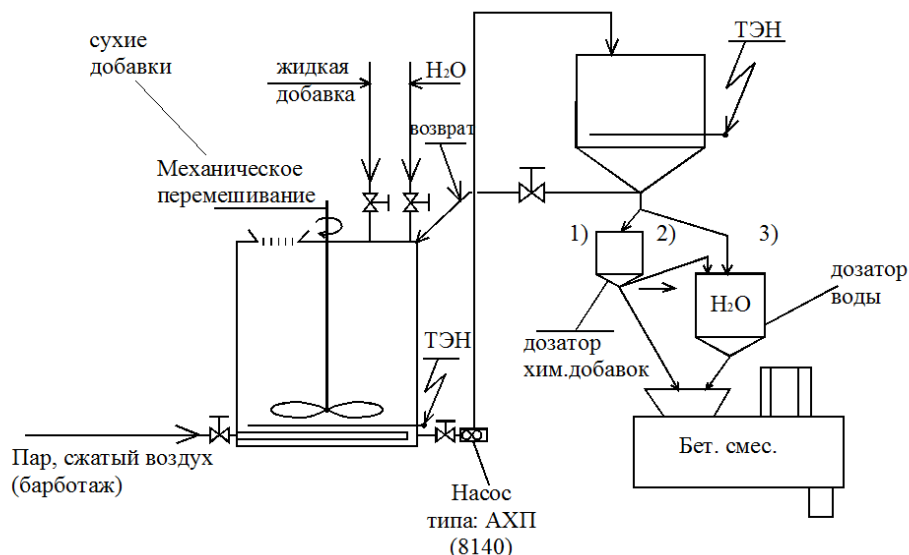


Рис. 65. Принципиальная схема приготовления и введения в бетон раствора добавки.

Приготовление раствора. В приготовительной емкости в расчетном количестве воды (при необходимости (в частности, до 25...40 °С при растворении «СП», Na₂SO₄ и др.) подогретой электротэнами, водяным паром) растворяют расчетное количество добавки путем механического перемешивания либо с помощью барботажа сжатым воздухом (реже – паром) и контролируют его качество.

Приготовленный раствор подают в расходную емкость БСУ (специальными насосами химдобавок, т.к. их растворы агрессивны по отношению к обычной стали). В отдельных вариантах (при отсутствии расходной емкости) раствор из емкости приготовления непосредственно дозируют на подачу в дозаторы, либо в бетоносмеситель. Целесообразно, чтобы расходная емкость была оснащена ТЭНами, так как при продолжительном хранении растворов некоторых добавок необходимо поддерживать требуемый уровень температуры (для предотвращения выпадения их вещества в осадок). С этой целью целесообразно (учитывая работу в зимний период) утеплять внешний контур емкостей растворения, расходную и трубопроводы подачи растворов добавок. Кроме того, при длительных перерывах в работе рационально сливать растворы из расходной емкости в емкость для их приготовления.

Необходимо отметить, что специализированные линии (участки) приготовления, транспортирования и введения в бетон растворов химических добавок выполняют с учетом их агрессивности к обычной стали. В современных условиях широко используют оснащение из нержавеющей сталей и соответствующих пластиков.

Дозирование и введение в бетоносмеситель растворов добавок реализуется:

- по схеме 1) рис. 65 при дозировании специальным дозатором растворов химических добавок и введением (рекомендуется после введения воды) в бетоносмеситель;

- по схеме 2) при дозировании тем же дозатором и введением в дозатор воды, где затем поступающей водой, дозируемой на замес, добавка перемешивается до образования раствора рабочей концентрации и вводится в бетоносмеситель;

- по схеме 3) при дозировании вначале требуемого количества раствора добавки дозатором воды, а затем остаточного количества воды на замес и введении в бетоносмеситель в виде раствора рабочей концентрации.

Во всех случаях при дозировании на замес воды затворения ее количество уменьшают на то количество, которое поступает с раствором добавки.

Расчет дозирования раствора добавки на замес бетоносмесителя осуществляют по зависимостям:

- по массе:

$$m_p = \frac{Ц \cdot Д}{C_p}, \text{ кг}, \quad (2)$$

- по объему:

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} = \frac{Ц \cdot Д}{C_p \cdot \rho_p}, \text{ л}, \quad (3)$$

где: Ц – расход цемента на замес для конкретного состава бетона, кг;

Д – дозировка добавки, %;

C_p – концентрация раствора добавки, %.

ρ_p – плотность раствора добавки концентрации C_p .

Недостающее количество воды на замес (с учетом ее содержания в растворе добавки):

$$\Delta B = B_s - \left(m_p - \frac{m_p \cdot C_p}{100} \right), \text{ кг(л)}, \quad (4)$$

или

$$\Delta B = B_s - m_p \left(1 - \frac{C_p}{100} \right), \text{ кг(л)}. \quad (5)$$

5 ФОРМЫ, БОРТОСНАСТКА И ПОДГОТОВКА ИХ К ФОРМОВАНИЮ ИЗДЕЛИЙ.

5.1 Классификационные отличия форм и требования к ним.

Формы придают требуемую конфигурацию и обеспечивают проектные размеры железобетонного изделия. Основные части формы - поддон, верхняя поверхность которого отражает нижнюю часть изделия; продольные и поперечные борта, определяющие конфигурацию боковых поверхностей изделий; шарнирные или другие соединения для крепления бортов к поддону и между собой, а также устройство для захвата формы подъемно-транспортными механизмами.

Изделия можно изготавливать на поддонах, используя инвентарную бортовую оснастку формовочного поста (например, при производстве плит пустотного настила, блоков стен подвалов, вибропрессованных изделий), а также используя инвентарную оснастку с креплением к поддону магнитами, обеспечивающую различные конфигурационные сочетания и изготовление разных типоразмеров и видов изделий, в зависимости от подбора бортовой оснастки в пределах рабочей площади поддона.

Формы проектируют и изготавливают в зависимости от условий их применения с учетом способа их перемещения в процессе изготовления изделий (по рельсовым путям или роликовым конвейером, краном или комбинированным способом); способов тепловой обработки формируемых изделий (через паровые полости или регистры, предусмотренные в конструкции формы, либо в камерах разных типов); особенностей армирования формируемых изделий (изделия с ненапрягаемой арматурой; с предварительно напряженной арматурой, натяжение которой воспринимают упоры стенда; с предварительно напряженной арматурой, усилия в которой воспринимает конструкция формы); в зависимости от способа уплотнения бетонной смеси (на виброплощадках, вибрустройствами с поверхности, навесными или глубинными вибраторами, виброгидропрессованием, роликовым прессованием и пр.).

По конструктивным признакам формы различают в зависимости от степени разборности (разборные; частично разборные; с упруго работающими элементами; неразборные), от степени переналаживаемости (непереналаживаемые, переналаживаемые, универсальные); от числа одновременно формируемых изделий (одноместные и многоместные).

Каждый тип форм отличается преимуществами и недостатками. Например, применение переналаживаемых форм снижает металлоемкость, но требует затрат труда и времени на переналадку, строгого учета и хранения деталей для переналадки. Поэтому тот или иной тип форм (или набор бортов с магнитным креплением к поддону) устанавливают при разработке технологии изготовления определенного вида(ов) изделий.

Формы - это наиболее металлоемкое оборудование заводов сборного железобетона. Конструкция форм должна обеспечивать требуемую геометрическую форму и размеры изделий, простоту и удобство сборки и разборки, чистки и смазывания, плотность соединения отдельных элементов, особенно в процессе формования изделий на виброплощадках или другом вибрационном оборудовании, неизменяемость размеров в процессе эксплуатации, а также свободный съём готовых изделий без повреждений, надёжную фиксацию закладных деталей и вкладышей в требуемых положениях, надёжность захвата форм траверсами или другими подъёмнотранспортными средствами, безопасность при открывании бортов (каждый из них должен опираться на упоры-ограничители). Формы должны обладать достаточной надёжностью и долговечностью, а также высоким качеством рабочих поверхностей, которые определяют качество поверхностей формируемых изделий. Количество оборотов стальных форм до полного износа (в зависимости от их типа) должно быть не меньше 1000...1500.

Конструкция форм с паровыми полостями должна обеспечивать их герметичность, равномерность прогрева поддона и бортов, свободный слив конденсата из паровых рубашек в рабочем положении форм.

Номинальные размеры собранных форм для изделий с *ненапряжённой арматурой* назначают равными соответствующим размерам этих изделий.

В процессе изготовления *предварительно напряжённых* изделий при передаче усилия натяжения арматуры на изделие бетон обжимается. Поэтому номинальные размеры форм по длине должны быть больше номинальных размеров изделий: при их длине до 15 м - на 10 мм, от 15 до 24 м - на 15 мм.

Предельные отклонения (в мм) внутренних размеров собранных незагруженных форм от номинальных зависят от класса точности изготавливаемых железобетонных изделий и (по ГОСТ 25781) составляют: для традиционных 5-го – 7-го классов точности при длине изделий от 1000 мм до 25000 мм, соответственно, от «± 1 мм» до «+ 10; -20 мм».

Допускаемая разность длин диагоналей при номинальных внутренних размерах формы от ≤ 4000 мм до 16000 мм составляет от 6 мм до 40 мм.

Отклонения от плоскостности рабочей поверхности поддона формы не должны превышать при длине поддона до 4000 мм и ширине поддона до 2500 - 4 мм; при той же длине и ширине поддона свыше 2500 мм - 6 мм; при длине поддона до 25000 мм – 8...12 мм.

Отклонения от прямолинейности рабочих поверхностей поддона, бортов и разделителей не должны превышать 2 мм на длине 2000 мм, 3 мм — при длине до 4000 мм; 4 мм — при длине от 4000 до 8000 мм; 6 мм — при длине 8000...16 000 мм и 12 мм — при длине 1600...25 000 мм.

Предельные отклонения внутренних размеров собранных форм по высоте бортов от плоскости поддона от номинальных не должны превышать 2 мм при высоте бортов до 200 мм и 4 мм при высоте бортов свыше 200 мм.

При уплотнении бетона изготавливаемых изделий на виброплощадках отклонение от плоскостности установленных на формах металлических плит для электромагнитного крепления форм к виброплощадкам не должна превышать 2 мм (при числе плит на одной форме до 4 шт.) и 4 мм (при числе плит более 4 шт.).

Допускаемые отклонения от размеров форм для изготовления других типов железобетонных изделий принимают в зависимости от допускаемых отклонений на эти изделия. Как правило, допускаемые отклонения от размеров форм примерно вдвое меньше допускаемых отклонений от соответствующих размеров железобетонных изделий. Такое ужесточение допусков объясняется тем, что в процессе эксплуатации форм вследствие изнашивания и деформаций размеры форм изменяются и отклонения от размеров увеличиваются.

В формах для изготовления предварительно напряженных изделий с натяжением арматуры электротермический метод большую роль играет точность расстояния между опорными поверхностями упоров для напрягаемых стержней. Допускаемые отклонения расстояния между упорами в зависимости от длины изделий не должны превышать следующих величин: при расстоянии между упорами: $l_y \leq 6,5$ м; 6,5...13 м; 13...19 м и свыше 19 м, предельное отклонение Δl_y соответственно должно быть: $\leq \llcorner 2\llcorner$; $\leq \llcorner 3\llcorner$; $\leq \llcorner 4\llcorner$ и $\leq \llcorner 5\llcorner$ мм.

Правильная эксплуатация форм и, в первую очередь, своевременная очистка и смазка, ремонт вышедших из строя механизмов и деталей, применение специальных инструментов и устройств для распалубки значительно повышают долговечность форм и позволяют получать изделия высокого качества. Очень важно сразу же после формования очищать формы от налипшего свежего, еще не схватившегося бетона, что исключает в дальнейшем очистку затвердевшего бетона.

5.2 Разновидности форм.

Производство бетонных и железобетонных изделий характеризуется широким разнообразием форм, что отражает разнообразие номенклатуры производимой продукции. На рисунках 66...75 частично представлены некоторые разновидности форм для изготовления железобетонных изделий и их краткая характеристика.

На рис. 66. показана форма-вагонетка для изготовления панелей наружных стен на поточной линии, которая в процессе изготовления изделия перемещается на колесах вагонетки 1 с помощью привода линии от поста к посту.

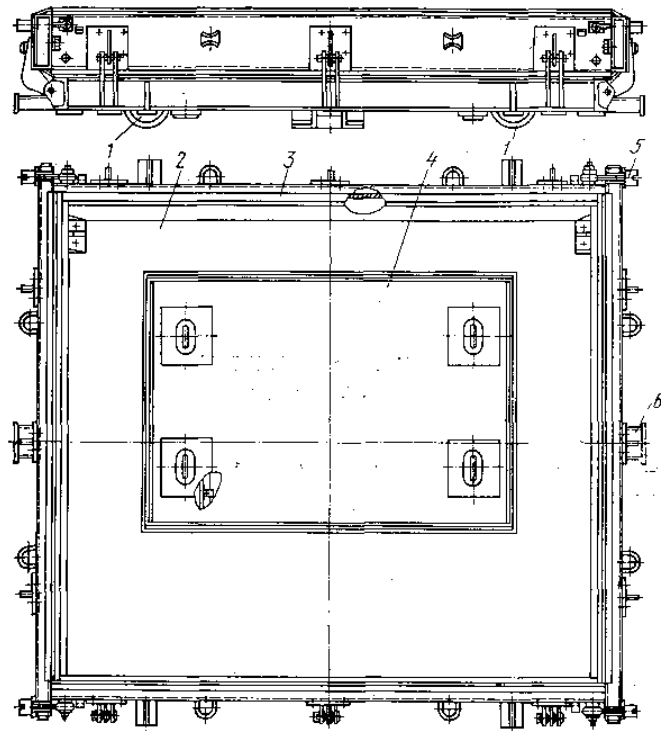


Рис. 66. Форма для изготовления панелей наружных стен:

1 — колесо, 2 — поддон, 3 — борт, 4 — вкладыш для образования оконного проема, 5 — винтовой замок, 6 — упор для перемещения формы.

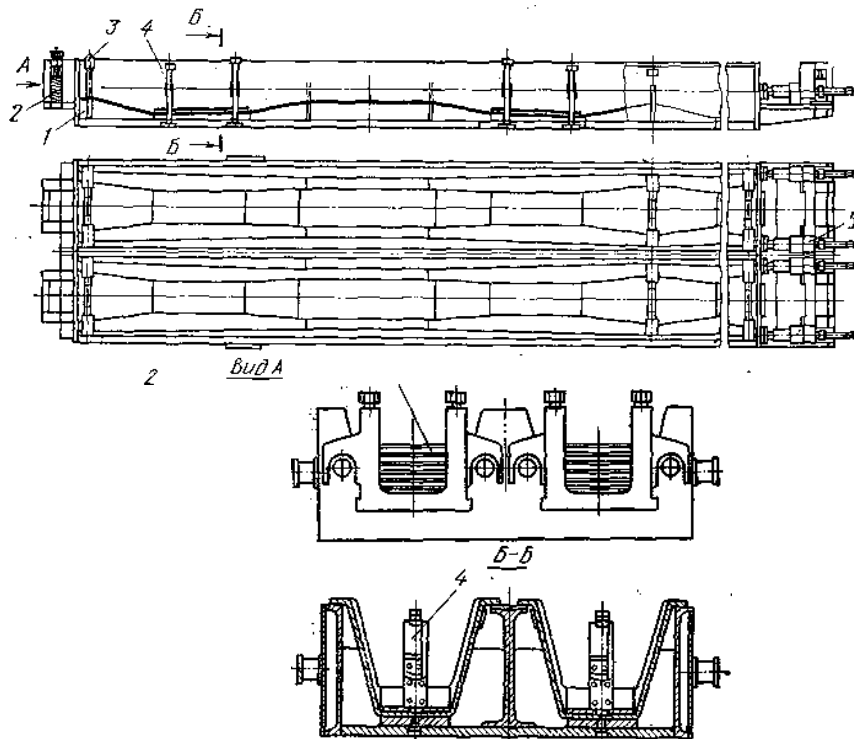


Рис. 67. Десятигнездовая форма для изготовления железобетонных предварительно напряженных шпал:

1 — корпус формы, 2 — пакет клиньев, 3 — диафрагма, 4 — пустотообразователь, 5 — головка формы.

На рис. 67 показана так называемая много (десяти) гнездовая силовая форма, предназначенная для одновременного изготовления 10 железобетонных предварительно напряженных железнодорожных шпал. Изделия армируют пакетами из высокопрочной холоднотянутой проволоки диаметром 3 мм (до 44 проволоки в сечение шпалы), 5 мм (20 проволок). Освоено производство преднапряженных железнодорожных шпал (Осиповичский завод ЖБИ), армированных стержневой арматурой.

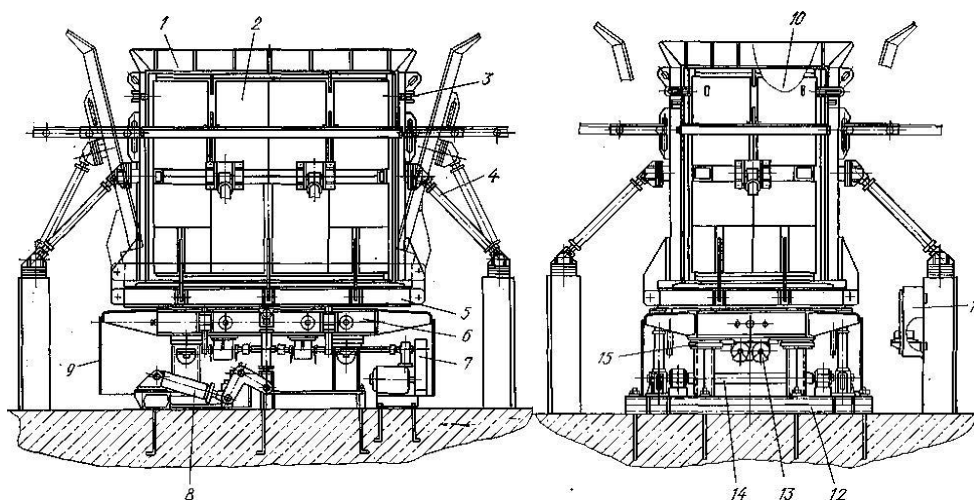


Рис. 68. Установка-форма СМЖ-340А для формования санитарно-технических кабин:

1 - воронка бортоснастки, 2 — бортоснастка, 3 — замок, 4 — тяга, 5, 12 — рамы, 6 — виброрама, 7 привод вибростола, 8 — гидроцилиндр, 9 — кожух, 10 — вкладыш, 11 — электрооборудование, 12 — вибратор, 14 — вал, 15 — опора виброрама.

На рис. 68 показана установка-форма, как вариант устройства для изготовления объемных (прямоугольного сечения в плане) железобетонных изделий: сантехкабин, шахт лифтов, элементов коллекторов, труб прямоугольного сечения и т. п. Их характеризует наличие внутреннего сердечника, который выполняется с сужением к верху (с технологическим уклоном) для облегчения процесса распалубки (съема) изделия, а также откидных (или съемных) бортов, образующих внешний контур изделия. На начальной фазе распалубки (перед съемом изделия краном со специальной траверсой) данные устройства обеспечивают «подрыв» изделия - смещение относительно сердечника (до 300...350 мм) по вертикальной оси (до ~ 100 мм после 3...3,5 ч тепловой обработки) либо за счет опускания сердечника, либо за счет подъема силовой рамы-платформы, на которую опирается изделие. С учетом наличия технологического уклона сердечника и смазки его поверхности до формования этим обеспечивается снижение нагрузки на кран при последующем съеме изделия и его бездефектная распалубка.

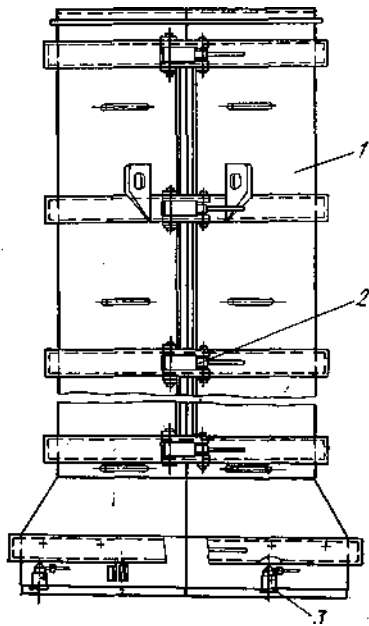


Рис. 69. Форма для изготовления бетонных труб методом радиального прессования:

1 — полуформа, 2 — замок, 3 — фиксатор

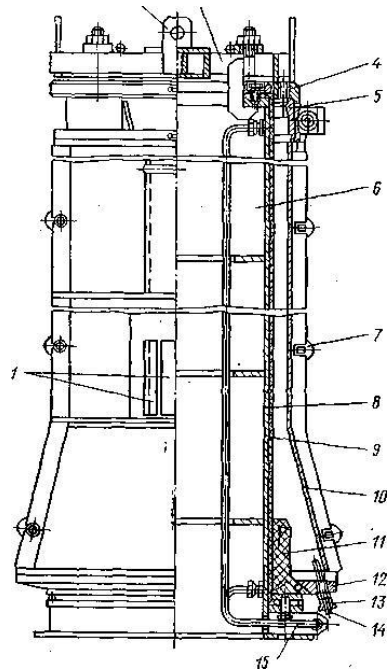


Рис. 70. Форма для изготовления напорных железобетонных труб методом виброгидропрессования:

1 — площадки, 2 — проушина, 3 — крестовина, 4, 5 — кольца, 6 — сердечник, 7 — болт, 8 — цилиндр сердечника, 9 — чехол, 10 — кожух, 11 — раструбообразователь, 13 — анкер, 14 — продольная напрягаемая проволока, 15 — патрубок подачи воды при прессовании.

На рис. 69 и рис. 70 показаны варианты форм для изготовления трубчатых изделий кольцевого сечения.

Форма рис. 69 предназначена для изготовления бетонных и железобетонных труб методами радиального (роликового) прессования или виброформования с последующей немедленной распалубкой изделий в вертикальном положении на участке (посту) естественного твердения либо в камере тепловой обработки. Распалубка обеспечивается разъемом (разведением) полуформ по шарнирному соединению и съему формы краном.

Форма рис. 70 - более сложной конструкции, включающей силовую внешнюю часть (с напряжением на нее в сборе продольной арматуры) и внутренний сердечник с надетым на него глухим (непроницаемым) резиновым чехлом. Металлические стенки сердечника имеют пазуху, куда нагнетается при опрессовке бетона вода; при этом внешняя стенка - перфорирована, благодаря чему давление воды передается на стенку резинового чехла, расширяет его, передавая усилие на бетон, а через "каркас" заполнителя в отформованном бетоне - на спиральную арматуру, создавая в ней напряжение.

При этом внешняя часть формы, состоящие из 2-х или 4-х частей (для диаметра ≥ 1200 мм), расширяется за счёт разъемов, оснащенных системой пружинных болтовых соединений. В этом расширенном состоянии формы проходит тепловая обработка (подачей пара внутрь сердечника) и твердеющий бетон фиксирует в своем объеме растянутая спиральную арматуру. Ее последующее сжатие обеспечивает преднапряжение бетона изделия в поперечном направлении, а продольной - вдоль продольной оси.

На рис. 71 показан силовой поддон, который в сборе с бортоснасткой рис. 72, составляет форму для изготовления преднапряженных плит пустотного настила.

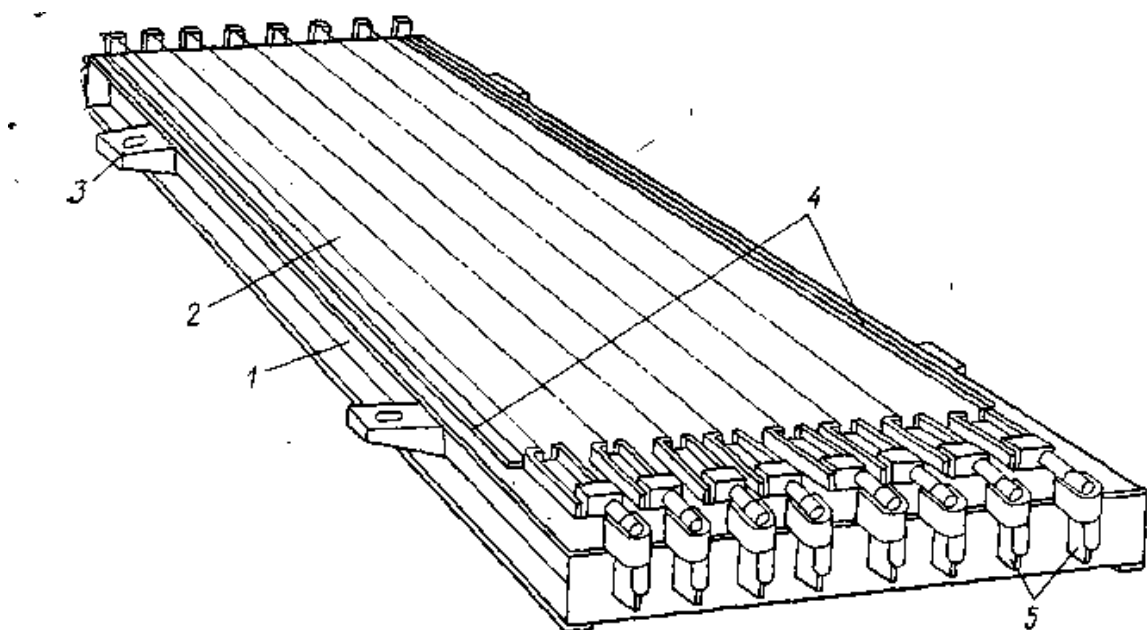


Рис. 71. Поддон СМЖ-548А:

1 – рама; 2 – стальной лист; 3,5 – упоры; 4 – фаскообразователи.

Данный типаж сборной формы (в том числе с иными вариантами бортовой оснастки, формирующими внешний контур изделия) в основном используется на технологических линиях агрегатно-поточного способа производства. Общим для всех случаев является преднапряжение рабочей арматуры на упоры поддона и частичная немедленная распалубка изделий со съемом (удалением) бортоснастки для последующего оборота.

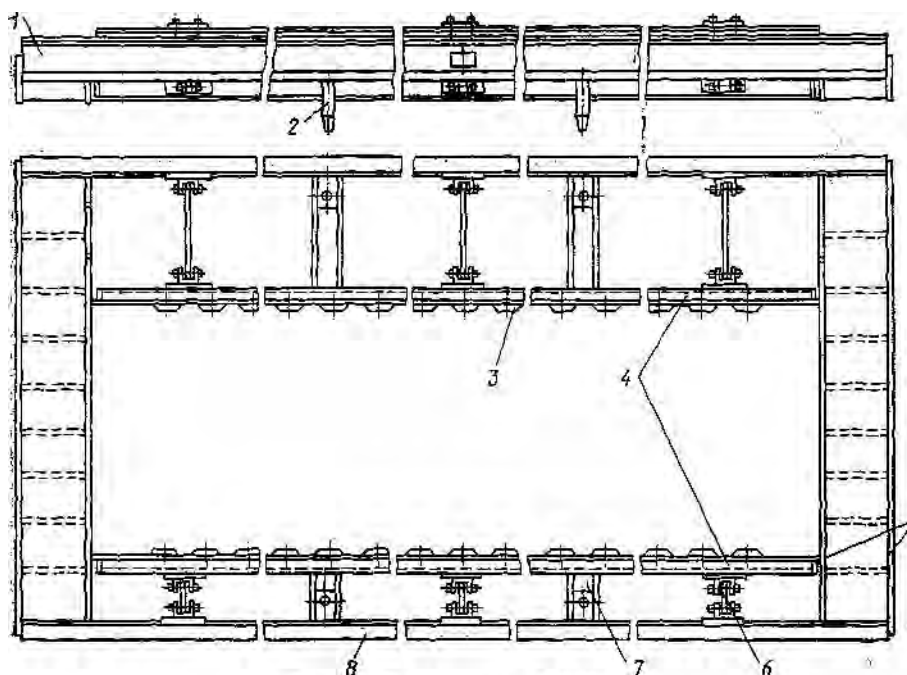


Рис. 22. Бортоснастка СМЖ-600:

1 — рама, 2 — штырь, 3 — накладка, 4 — борта, 5 — листы, 6 — шарнир, 7 — упор, 8 — балка

Рис. 72. Поддон СМЖ-548А:

1 — рама; 2 — стальной лист; 3, 5 — упоры; 4 — фаскообразователи.

На рис. 73 и 74 приведены варианты силовых форм для изготовления различных балок.

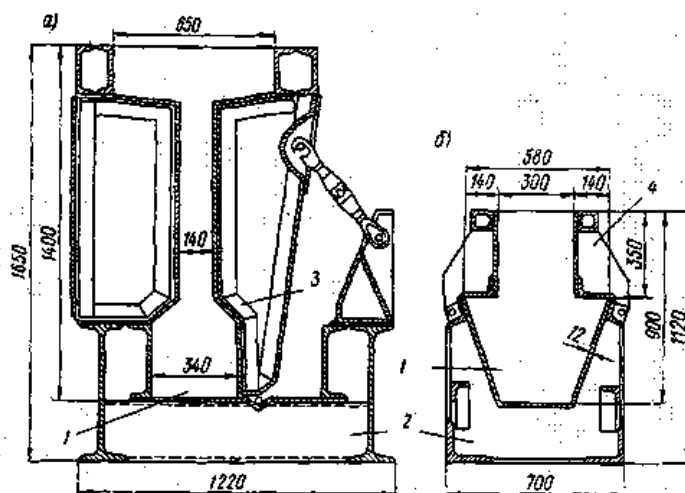


Рис. 73. Силовые формы для предварительно напряженных балок:

а — для подкрановой балки длиной 12 м; б — для ригеля; 1 — изделие; 2 — силовая часть формы; 3 — съемный борт; 4 — откидной борт.

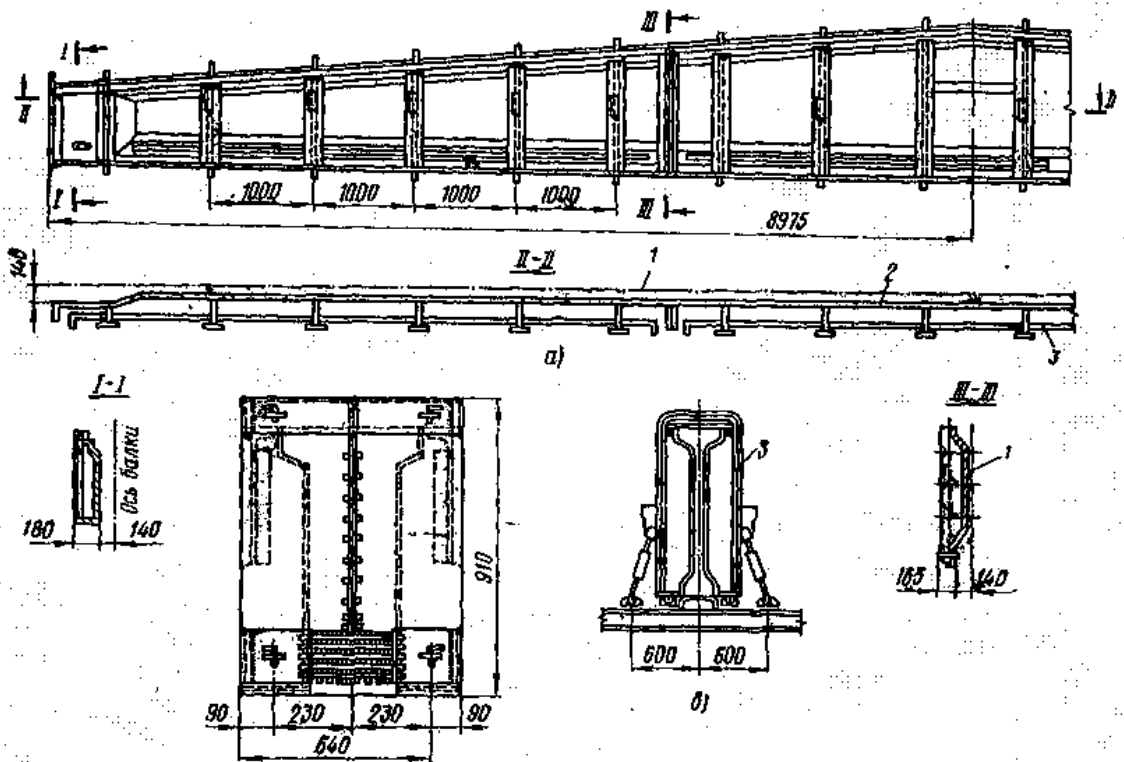
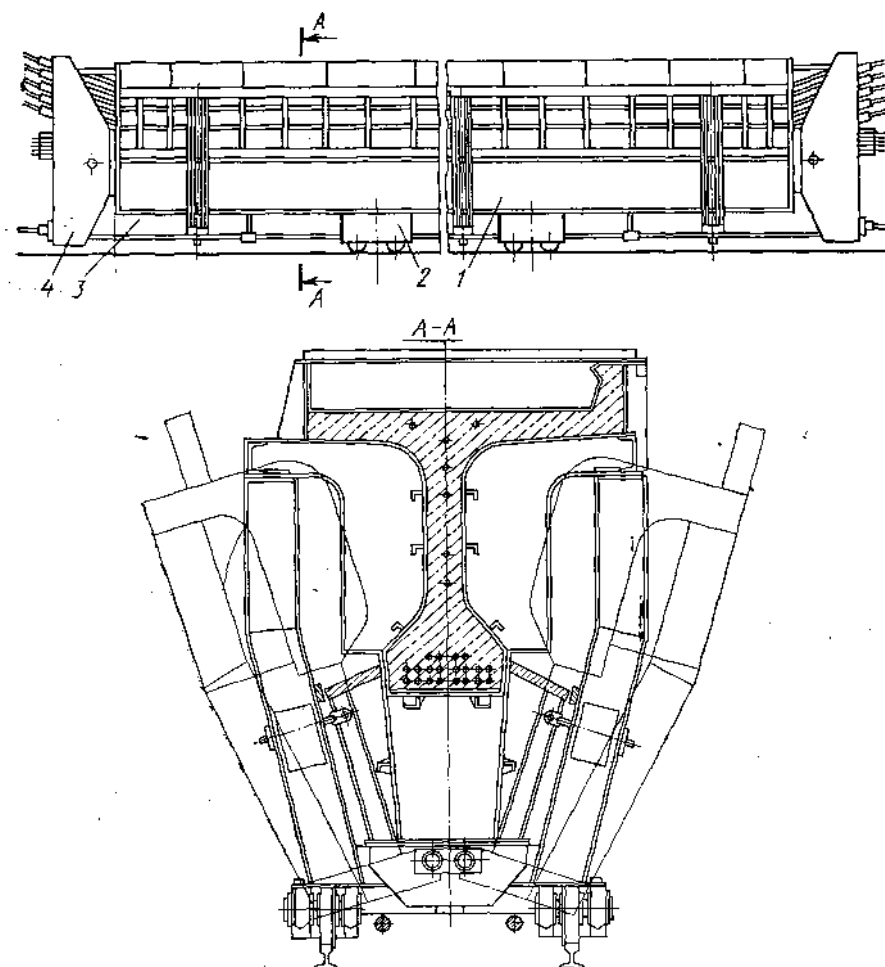


Рис. 74. Форма для двускатной балки:

а – боковой вид бортовой оснастки; б – вид формы с торца; в – поперечный разрез формы; 1 – ось балки; 2 – стенка формы; 3 – обшивка тепловой рубашки.

Форма для изготовления подкрановых (и иных с параллельными поясами) балок (рис. 73 а) имеет один (или оба) откидных боковых борта. Пазухи последних (рис. 74), утепленных по внешнему контуру, служат паровыми рубашками для осуществления тепловой обработки изделий.

На рис. 75 приведен вариант формы для изготовления разнообразных балок (включая совмещенные с бортовыми отбойниками) мостовых (автомобильных, железнодорожных) пролетных строений, показывающий высокую степень сложности конструкции таких форм. Приведенные выборочно примеры видов форм и бортооснастки, используемых в производстве бетонных и железобетонных изделий, свидетельствуют о необходимости тщательного ухода за парком форм в процессе эксплуатации как для обеспечения качества изготавливаемых изделий, так и с целью их и долговременной эксплуатации, учитывая высокую стоимость форм.



Ряс. 75. Передвижной стенд-форма для изготовления балок-блоков мостовых пролетных строений:

1 — опалубка, 2 — тележка, 3 — поддон, 4 — упор

5.3 Подготовка форм к формованию изделий.

Подготовка форм (бортоснастки) к формованию изделий включает чистку и смазку; в отдельных случаях (в основном в связи с преднапряжением арматуры) дополнительные операции по герметизации выпусков арматуры от протекания цементного теста при формовании изделий (например, герметизация (парафинирование) нижнего кольца форм виброгидропрессованных труб).

Пооперационная чистка форм выполняется перед каждым циклом формования; специальная (технологическая) осуществляется с выводом из оборота форм (бортоснастки, формовочных устройств) с определенной периодичностью по специально разработанному графику.

Организация работ при пооперационной чистке может отличаться для конвейерных, агрегатно - поточных линий и станков, с учетом их специфики.

В частности, чистка поддонов и форм конвейерных линий легче поддается механизации с использованием машин, оснащенных «мягкими» металли-

ческими или синтетическими вращающимися щетками, реализуя чистку при перемещении конвейера.

Для реализации механической чистки на агрегатно-поточных линиях соответствующими приводными порталными машинами подобного типа следует оснащать пост распалубки изделий.

Для механической чистки стенов (например, многоотсечных кассет) используют специальные устройства с перемещающимися в вертикальной плоскости и вращающимися щетками тарельчатого типа; из отсека в отсек устройство переставляют с помощью крана.

Необходимо отметить, что разнообразие форм, их конструктивных и конфигурационных особенностей затрудняет реализацию полной механизации и автоматизации операции очистки. Исключения составляют чистка гладких плоских поддонов (для всех типов линий, включая поддоны стеновых линий безопалубочного формования) и съемных, с креплением на магнитах бортов, конфигурация которых упрощена и постоянна для определенных видов изделий.

В этой связи пооперационная очистка форм, реализуемая вручную с помощью ручного механического инструмента: пневмоскребок, скребок, щеток (пневно-, электромеханических и ручных), абразивных приводных шлифовальных машинок и т. д., широко применяется в технологии заводского производства бетонных и железобетонных изделий.

Технологическая чистка форм (бортоснастки) осуществляется периодически, по мере необходимости либо по разработанному графику, в том числе с учетом необходимой переналадки (переоснащения) их и (или) ремонта.

Ее осуществляют в основном путем механической обработки рабочих поверхностей поддонов и бортов, а в отдельных случаях - химической обработкой.

Механическую обработку реализуют с помощью вращающихся щеток из «твердой» стали, шлифованием, пескоструированием.

Лучшие результаты дает шлифование, т.к. при этом в слое отшлифованного металла проявляется эффект наклепа стали; поверхности придается меньшая степень шероховатости (что снижает в последующем силы сцепление ее с бетоном) и большая твердость (т.е. способность сопротивляться абразивному износу в процессе последующей эксплуатации). Одновременно следует учитывать, что при шлифовании (как и при обработке вращающимися щетками из «твердой» стали) имеет место уменьшение сечения обрабатываемого слоя металла.

Пескоструирование - обработка поверхности направленным под давлением воздуха (0,4...0,6 МПа) «факелом» распыляемого песка (крупнозернистого, предварительно высушенного), позволяет эффективно очищать как плоские (поддоны), так и сложные по конфигурации элементы форм. Процесс

осуществляется на специализированных участках (постах) и при мерах специальной защиты исполнителей из-за сильного пылеобразования и спонтанного разлета (оседания) частиц песка и пыли. Следует учитывать, что в отличие от шлифования, при пескоструировании удары зерен песка наносятся многократно, но - точно. Как следствие, шероховатость обработанной поверхности выше и такая чистка должна выполняться чаще.

Химическая обработка (чистка) поверхности форм основывается на реакции нейтрализации остатков цементного камня, характеризующихся щелочной средой из-за наличия $\text{Ca}(\text{OH})_2$, слабыми (концентраций $\leq 5\%$) водными растворами кислот (H_2SO_4 , HCl и др.). В результате развития реакции между ними цементный камень теряет прочность, размягчается и легко удаляется с очищаемой поверхности механический (щетками, скребками и т.п.). Кроме растворов кислот могут использоваться пастообразные материалы, содержащие в составе кислоту, ингибитор коррозии стали и тонкодисперсный наполнитель. При реализации химической обработки раствор или пасту наносят на обрабатываемую поверхность, выдерживают необходимое для реакции время, механические удаляют размягченный цементный камень, промывают и сушат, а затем наносят на поверхность защитную смазку от коррозии. Рекомендуется в состав защитной смазки на основе минеральных масел вводить ингибиторы коррозии стали.

Химическая обработка может быть единственно применяемым вариантом чистки поверхностей пластиковых форм. В этом случае необходима предварительная опытная проверка совместимости (отсутствия реакции) планируемой к использованию кислоты и материала очищаемых форм.

5.4 Смазка форм.

Основная цель смазки форм заключается в решении задачи по сведению к минимуму или полному устранению сил сцепления затвердевшего бетона с поверхностью бортоснастки. Кроме этого (например, при вибропрессовании) решается задача исключения или сведения к минимуму адгезии свежееотформованного бетона к бортоснастке (поверхностям вибропригрузов, формообразующих матриц).

К смазкам предъявляют следующие основные требования:

- обладать консистенцией, обеспечивающей нанесение распылением сжатым воздухом на поверхности при $t = -20\dots+50^\circ\text{C}$ сплошным тонким (0,1...0,3 мм) слоем;
- обладать вязкостью, достаточной, чтобы не стекать с вертикальных и наклонных поверхностей;
- быть водостойкой и не смешиваться с пристенным слоем бетона (кроме специальных смазок);
- не оказывать разрушающего воздействия на бетон;

- не оставлять жировых и цветowych пятен;
- не быть токсичной и пожаровзрывоопасной;
- не вызывать коррозии рабочих поверхностей форм.

Разновидности смазок: эмульсионные; на основе нефтепродуктов; на основе технических жиров и вошин; замедлители схватывания; суспензионные и пленкообразующие.

Эмульсионные смазки наиболее широко применяются в производстве бетонных и железобетонных изделий. В их состав входят гидрофобные вещества, вода и стабилизаторы. «Механизм» действия заключается в образовании гидрофобной пленки на поверхности форм (бортоснастки), которая способствует снижению сил сцепления с затвердевшим бетоном. В качестве гидрофобного компонента используют, например, эмульсол кислый синтетический (ЭКС; концентрированная эмульсия, состоящие из ~ 35% веретенного масла, ~ 5% высокомолекулярных синтетических кислот и ~ 60% воды) и его аналогов.

Для стабилизации эмульсий в состав вводят кальцинированную соду, хозяйственное мыло и др. На этой основе готовят прямые эмульсии, в которых воды ≤ 90 ч; ЭКС (или аналогов) ~ 10 ч; стабилизатора – 0,7...1 ч, с областью применения – для смазки плоских поддонов и форм с высотой борта до 1,0 м.

Для смазки форм с высотой борта до 1,5 м (иногда более) используют обратные эмульсии, в составе которых доля ЭКС (или аналогов) возрастает до 20 ч. Для кассетных установок и подобных по высоте форм целесообразно использование водно-мыльно-масляных эмульсий. В их состав входят высоковязкие минеральные масла (например, нигрол) в количестве ≥ 20 ч, стабилизатор (~ 1 ч) и вода – до 80 ч.

Смазки на основе нефтепродуктов эффективны, но дороги, если основу жидких смазок составляют масла и растворители - солярная масло, керосин; уайт-спирит и др. Работа с ними требует особых мер техники безопасности (пожароопасны) и производственной санитарии (испарение растворителя).

В большей степени на основе нефтепродуктов используют консистентные смазки, в состав которых входят солидол (или аналоги), солярное масло и тонкодисперсный наполнитель - известь пушонка (золы ТЭС), для смазки вкладышей, других пустотообразующих или конфигурационно сложных элементов и т.п.

Смазки на основе технических жиров и вошин представляют собой эмульсии, приготовленные с использованием жировых отходов шерстобитных производств (например, смазка ОПЛ), а также технических вошин и парафинов. Особенностью их использования является нанесение с натиранием смазываемой поверхности. Образуется глянцевый тонкий слой (расход смазки - 70...100 г/м² поверхности), способствующих повышению качества поверхности изделия. Рационально их использование для смазки поддонов (ре-

комендуется - с оборота, после тепловой обработки на не остывший поддон) в производстве плит перекрытий (например, пустотного настила) с целью повышения качества потолочной поверхности.

Смазки - замедлители схватывания (или смазки – «вскрыватели»), которые в своем составе содержат вещества, замедляющие процессы схватывания и твердения цемента. Известно, что в процессе твердения в объеме цементного камня и бетона создается разрежение, из-за чего в его контактный (пристенный) слой впитывается вещество смазки, в результате резко снижается прочность внешнего слоя цементного камня, который затем очищается, оголяя декоративный заполнитель. Необходимо отметить, что применение таких составов в качестве смазки ограничено. Чаще их используют в варианте пропитки пористого картона или войлочных материалов, которые укладываются подстилающим слоем в форму на поддон с целью последующего оголения декоративного заполнителя.

В качестве замедлителей используют ЛСТ (лигносульфанаты технические), мылонафт, животный клей (костный), кормовую и сахарную патоки. Состав смазок входит: вода; гидрофобное вещество (масла); замедлитель; известковое молоко, в соотношении, зависящим от цели и условий использования.

Смазки - суспензии (или - дисперсии) представляют собой взвесь тонкодисперсного твердофазного материала в воде. При испарении воды на обрабатываемой поверхности образуется «пленка» в виде тонкого сплошного слоя дисперсного порошка, практически полностью исключая ее сцепление с затвердевшим бетоном. Такие смазки готовят в виде водных суспензий: известковой, меловой, глиняной, шламовой. Для усиления эффекта используют водно-масляные суспензии, которые кроме указанного содержат гидрофобизирующие вещества (например, мылонафт, петролатум и пр.).

Данная разновидность смазок может быть применена в производстве изделий с неотделяемыми и невидимыми в процессе эксплуатации поверхностями, либо с их очисткой от остатков смазки и дополнительной обработкой.

Пленкообразующие смазки - развивающееся, имеющее широкую перспективу применения направление, характеризующееся тем, что на обрабатываемой поверхности форм (бортоснастки) формируется тонкая полимерная пленка, практически исключая сцепление с затвердевшим бетоном. Ее глянцевая поверхность обеспечивает высокое качество поверхности бетона. Одним из обязательных условий при изготовлении изделий, поверхность которых подлежит последующей отделке, является самораспадение пленки после однократного оборота форм. В современных условиях составы таких смазок являются «ноу-хау» фирм-производителей.

Приготовление смазок преимущественно 2-х стадийный процесс. Специализированные предприятия-производители готовят концентрированные исходные продукты для последующего приготовления рабочих составов смазок на месте применения. На обеих ступенях оборудуются специальные участки, оснащаемые производственным оборудованием, вентиляцией, системами пожарной безопасности, очистки стоков, канализацией и т.д. Наиболее просты в приготовлении однородные по составу смазки на основе нефтепродуктов. Для их приготовления достаточно интенсивного механического перемешивания.

Смазки-суспензии готовят с использованием интенсивного механического перемешивания, применяя краскотерки и т.п. механизмы. Наиболее сложны в приготовлении эмульсионные смазки. Их следует готовить с применением эмульгаторов ультразвуковых, в которых реализуется эффект кавитации, за счет которого достигается молекулярный уровень диспергации в воде гидрофобных компонентов. Этим обеспечивается однородность эмульсионных смазок (гомогенность), их седиментационная устойчивость и качество.

Нанесение смазок рекомендуется осуществлять распылением: либо с использованием сжатого воздуха ($P \sim 0,4 \dots 0,6$ МПа), либо специальных устройств-форсунок. При этом нормативный расход смазок составляет ~ 200 г/м², при нанесении на металлические поверхности; уменьшается для «пластмассовых» поверхностей в ~ 2 раза; увеличивается для поверхностей из дерева (фанеры), а также при нанесении кистью, валиком и т.п. в $1,5 \dots 2$ раза.

6 АРМАТУРА И АРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.

Бетон характеризуется существенно меньшей прочностью на растяжение, чем на сжатие. Для разных классов по прочности, составов (водоцементного отношения, вида и свойств заполнителей и цемента, химических и минеральных добавок) условий формования и твердения и других факторов это соотношение различно. Практика испытаний образцов легкого и тяжелого конструкционного бетона показывает, что оно может изменяться в пределах от ~ 8 до ~14 раз.

Сталь характеризуется высокой прочностью как на растяжение, так и на сжатие. Введения ее в бетонные конструктивные элементы, в первую очередь - в растянутой зоне, а также элементы, работающие на сжатие, повышает их несущую способность.

Совместная работа стали и бетона в железобетоне обеспечивается следующими основными факторами:

- наличием сил сцепления в зоне контакта бетона с поверхностью арматуры (усиливаемых профилированием и анкерением последней), что обеспечивает совместное сопротивление действию внешних нагрузок;

- цементный бетон характеризуется щелочной средой, в которой стальная арматура пассивна при сохранении щелочности на уровне $pH \geq 11,8$ ед., и обеспечивает ей защиту от коррозии при достаточной плотности (непроницаемости) и толщине защитных слоев;

- сталь и бетон характеризуются близкими по значениям коэффициентами линейного (температурного) расширения в диапазоне температуры до $100^{\circ}C$, что обеспечивает сохранение силы сцепления между ними и совместную работу в изменяющихся температурных условиях среды эксплуатации железобетонных изделий (конструкций).

В бетоне растянутых зон железобетонных конструкций (особенно изгибаемых, перекрывающих пролеты) проявляются деформации с образованием трещин. Появляется опасность коррозии рабочей арматуры, снижения и полной потери несущей способности конструкций (особенно, при наличии агрессивной по отношению к стали эксплуатационной среды). С целью предотвращения образования трещин (или ограничения ширины их раскрытия) бетон растянутой зоны подвергают предварительному (на стадии изготовления изделий) обжатию за счёт напряжения рабочей арматуры и передачи его усилия на бетон.

6.1 Назначение, сортамент и свойства стальной арматуры.

Арматура железобетонных изделий предназначена для:

- восприятия растягивающих усилий, возникающих в конструкциях, работающих под нагрузкой;

- усиления работы сжатой зоны бетона конструкций;
- усиления работы зон бетона, воспринимающего усилия среза, кручения и других видов сложнапряженного состояния, возникающего в процессе эксплуатации конструкций.

В связи с предназначением арматура железобетонных изделий (конструкций) подразделяется на:

- рабочую - предназначенную для восприятия усилий от полезной нагрузки и собственного веса конструкций;
- монтажную - обеспечивающую проектное расположение рабочей арматуры, и воспринимающие дополнительные (при распалубке изделий, транспортные, монтажные и пр.) нагрузки;
- конструктивную - которая проектируется и устанавливается по конструктивным соображениям для восприятия нагрузок не поддающихся учету (возникающих от влияния случайных факторов) при разработке (расчёте) схемы армирования изделия (конструкции).

Кроме разновидностей арматуры основного предназначения в железобетонных и бетонных изделиях имеется *анкерная* арматура в виде анкеров, закладных деталей, монтажных петель, крепежных элементов и т.п.

Классификационные признаки и маркировка арматуры. Для армирования железобетонных изделий применяют главным образом стальную арматуру из углеродистых (в основном содержанием углерода до 0,25%) и низколегированных (с содержанием легирующих добавок до 1...2%) сталей. Неметаллические виды арматуры (стеклопластиковой, углеродоволоконной, базальтовой и других видов (это направление развивается) *композитной* арматуры) постепенно увеличивают объем применения. В частности, в конструкциях специальных сооружений, где стальная арматура создает помехи в процессе их эксплуатации или требуется особая устойчивость арматуры против коррозионного воздействия эксплуатационной среды. Область применения композитной арматуры в современных условиях ограничивается использованием (взамен стальной) в качестве ненапрягаемой. При преднапряжении проблему составляет фиксация в зажимах (без нарушения структуры арматуры) и упруго-деформативные свойства ряда видов композитной арматуры (недостаточная упругость и высокая степень ползучести во времени); кроме этого - гнутье и анкерение отгибом (загибом) такой арматуры. Вместе с тем ее применение имеет безусловную перспективность, а в ряде позиций, например при использовании в качестве армирующих элементов - гибких связей, при изготовлении многослойных стеновых панелей и других подобных изделий, композитная арматура практически вытеснила стальную.

Стальную арматуру (арматурную сталь) классифицируют: по основной технологии ее изготовления - на горячекатаную стержневую (стержневая арматура) и холоднотянутую проволочную (проволочная арматура); по усло-

вию применения в конструкциях - на ненапрягаемую и напрягаемую арматуру; по профилю - на гладкую и периодического профиля.

Стержневую арматуру, в зависимости от последующей упрочняющей обработки, подразделяют на следующие группы: горячекатаную, не подвергающуюся после проката упрочняющей обработке; термически или термомеханически упрочненную; упрочненную вытяжкой в холодном состоянии.

Холоднотянутую проволочную арматуру подразделяют на следующие виды: арматурную проволоку (обыкновенную и высокопрочную); витую проволочную арматуру (пряжи и канаты); арматурные проволочные изделия (сварные арматурные сетки, тканые и сварные сетки для «армоцементных» конструкций).

По условиям поставки различают прутковую и бунтовую арматурную сталь. Прутковую сталь поставляют диаметром от 12 мм и более в виде прямолинейных стержней в пачках весом до 5 т. Длина прутков от 6 до 12 м; по особому заказу делают стержни длиной до 18 м и даже до 25 м, а также определенной (мерной) длины в пределах указанных размеров.

В бунтах (мотках) или на катушках поставляют арматурную сталь диаметром до 10 мм, а также витую проволочную арматуру (пряжи и канаты). Внутренний диаметр мотков, в зависимости от механических характеристик стали и диаметра арматуры, принимают от 0,6 до 2,5 м, а вес - не менее 80 кг.

Витая проволочная арматура должна иметь длину до 1000 м и более; допускается поставка отдельных отрезков не менее 200 м.

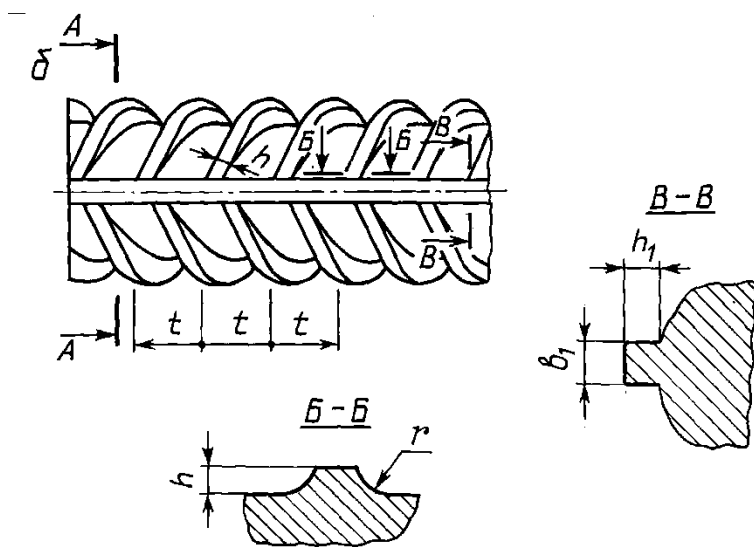
Стержневую арматуру, в зависимости от гарантируемых прочностных характеристик и пластичности, подразделяют на классы.

Стержни арматурной стали класса S240 (A 240; A-1) изготавливают круглыми гладкими, стержни других классов — периодического профиля (рис. 76). Номинальные диаметры d_n стержней периодического профиля соответствуют диаметрам равновеликих по площади поперечного сечения круглых гладких стержней.

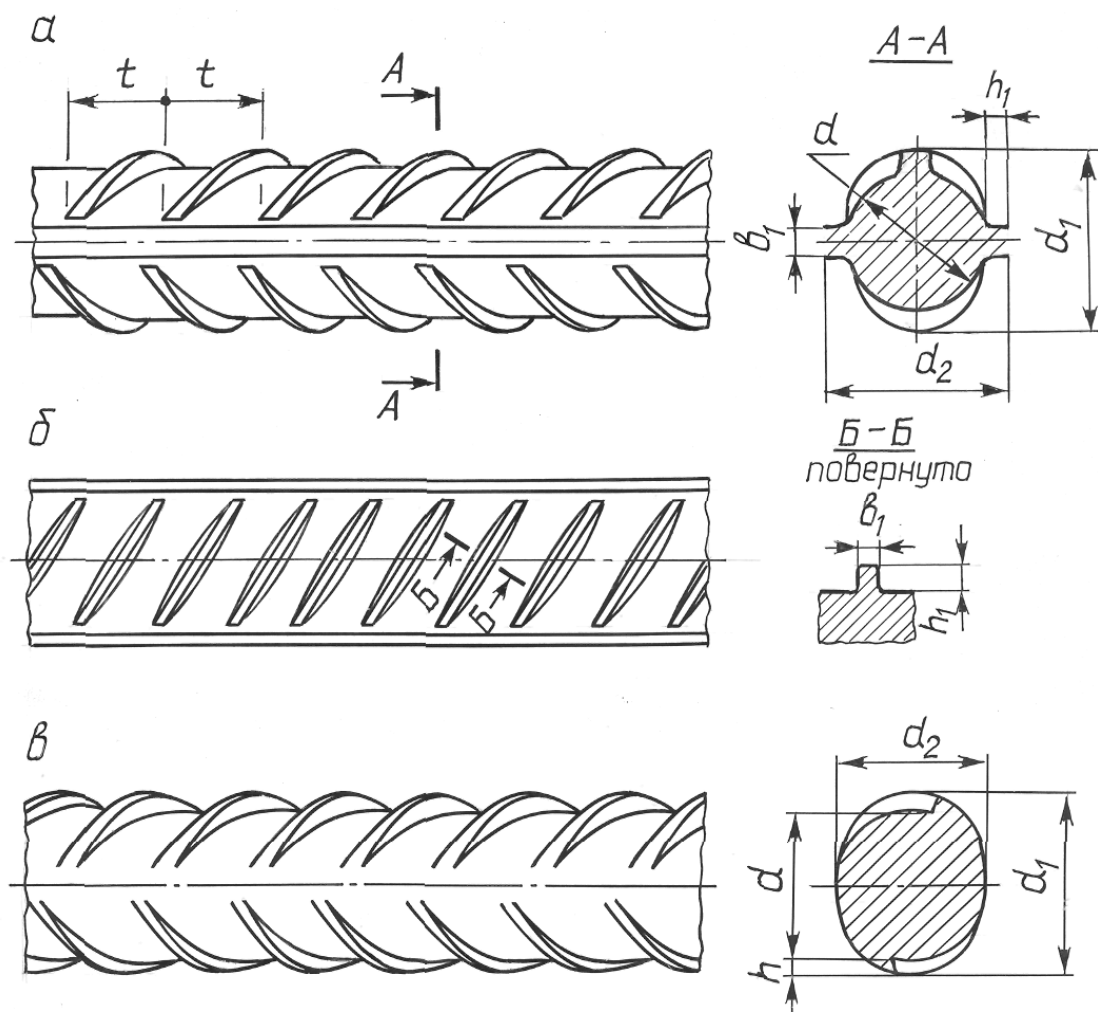
Арматурные стали разных классов с одинаковым рисунком периодического профиля различают по цвету окрашенных концов стержней. При этом для стали класса S800 (A 800; A-V) принят синий цвет, для класса S1200 (A 1200; A-VII) — желтый.

Арматурную проволоку, в зависимости от гарантируемых прочностных характеристик, подразделяют на два класса: обыкновенную арматурную проволоку (низкоуглеродистую) класса B-I и высокопрочную арматурную проволоку (углеродистую) класса B-II.

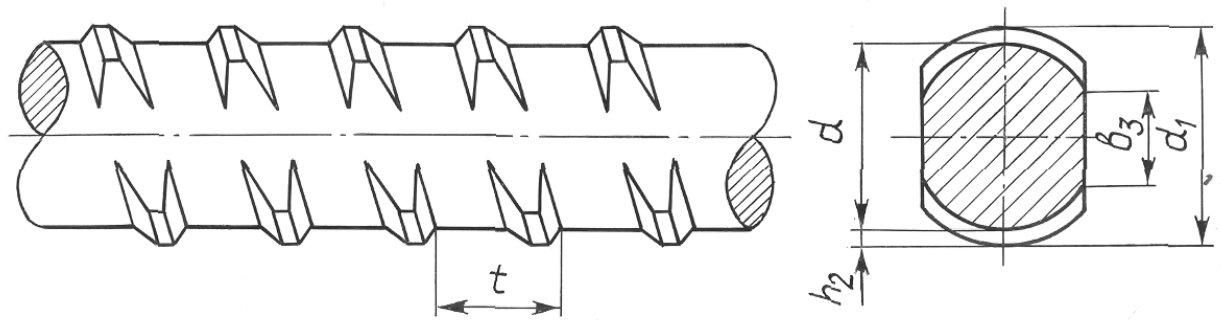
Арматурную проволоку изготавливают гладкой, рифленой и периодического профиля (рис. 77). Для обозначения класса рифленой к букве «B» добавляется индекс «р» (рифленая); периодического профиля — индекс «рп».



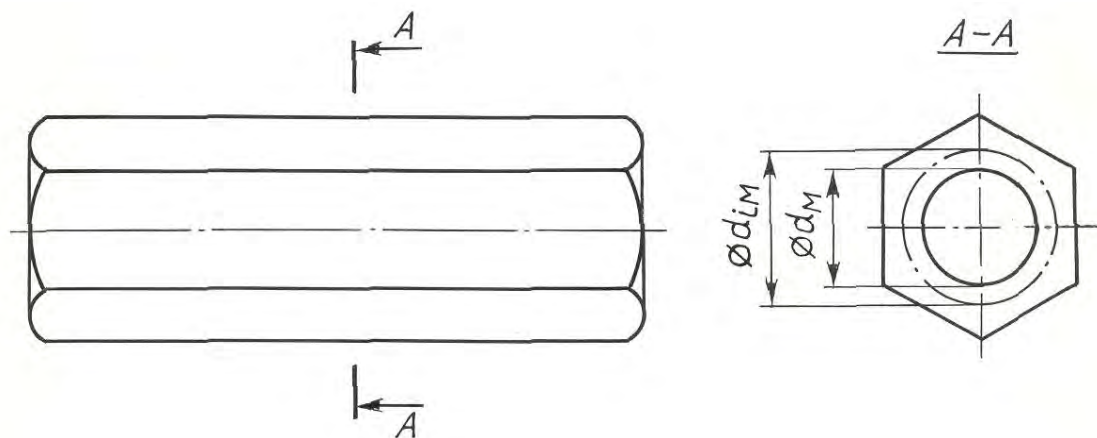
а) профиль стержневой арматуры (ГОСТ 5781-82) классов S400...S1200;



б) серповидный профиль стержневой арматуры;



в) арматурная сталь винтового профиля (ТУ 14-2-686-86);



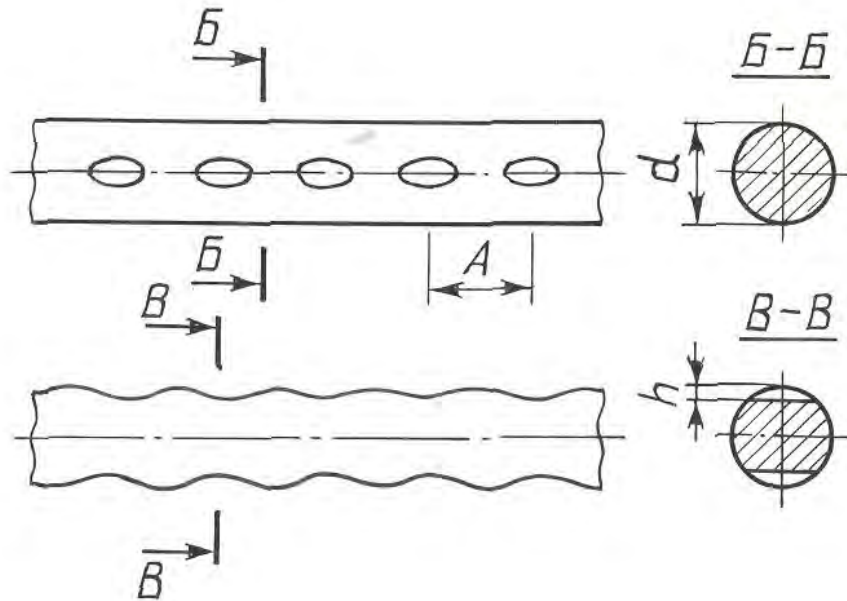
г) соединительный элемент для арматуры винтового профиля (ТУ 14-283-19-86).

Рис. 76. Основные профили стержневой арматуры.

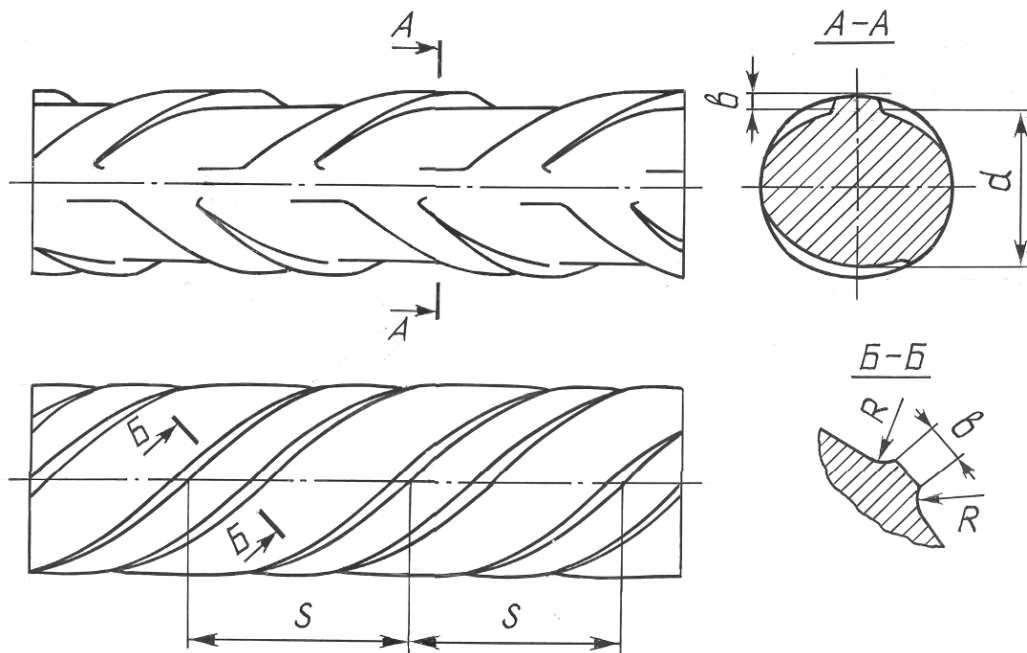
Обыкновенную арматурную проволоку поставляют, как правило, гладкой диаметром по ГОСТ 6727-80 от 3 до 8 мм, а высокопрочную класса В-II и класса Вр-II (ГОСТ 7348-81) - диаметром до 5 мм.

Витую проволочную арматуру подразделяют на свитые из проволок арматурные пряди (не раскручивающиеся) класса «П» и канаты класса «К» (рис. 77, б). Количество проволок в арматурных прядях обозначают соответствующей цифрой после буквы «П» (например, П-7, или семипроволочная арматурная прядь).

а)



б)



в)



Рис. 77. Профиль высокопрочной проволоки (а) класса Вр-II; профиль проволоки класса Вр-I (б) и поперечное сечение (в) арматурных канатов К-7 и К-19 (ГОСТ 13840-68).

Тип арматурного каната (двухпрядного и многопрядного) обозначают буквой «К» и двумя цифрами, первая из которых соответствует количеству прядей, а вторая — количеству проволок в прядях (например, К2Х19 - двухпрядный арматурный канат, каждая прядь которого состоит из 19 проволок).

При изучении *сортамента стальной арматуры* полезно соотносить ее внешний вид с маркировкой соответствующих классов, видом и назначением арматуры:

- стержневая (S240; S400; S500; S540; S800; S1200 или: А240...А1200; А-I...А-VII);
- проволока I-го класса (S500 или В500; В- I; Вр- I; Врп- I);
- проволока II-го класса – высокопрочная (S1200; S1400) или В-II, Вр-II;
- гладкая арматура (S240; S500; В500);
- периодического профиля (S400 – S1200, стержневая; Врп- I, проволока);
- рифленая (Вр-I; Вр-II);
- канаты (К-7 Ø 6; 9; 12; 15 мм; К-19 Ø 14 и др.);
- пряди (П-7 и др.);
- пучки (плоские, объемные);
- напрягаемая арматура: S540; S800; S1200; S1400; В-II и Вр-II; К-7; К-19; пряди; пучки;
- ненапрягаемая: S240; S400; S500; В500(Вр- I; Врп- I).

Арматурные элементы и изделия для армирования железобетонных изделий заготавливают и используют в виде отдельных стержней и проволок, сеток и пространственных каркасов.

Отдельные стержни (проволоки) заготавливают расчетной мерной длины (см. приложение), при необходимости обустройства анкеры и используют в соответствии с расчетом (проектной документацией на изделие). Например, в качестве рабочей напрягаемой арматуры разнообразных плит перекрытий (покрытий), балок, ферм, ригелей, труб и т.д.

Сварные арматурные сетки (ГОСТ 8478 или в соответствии с проектной документацией на изделие) изготавливают из стержней, расположенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях и соединенных в местах пересечения контактной точечной сваркой. Сетки по ГОСТ 8478 выпускают двух типов: рулонные и плоские.

Рулонные сетки изготавливают с продольной или поперечной рабочей арматурой, а также с рабочей арматурой в обоих направлениях. Для нее применяют обыкновенную арматурную проволоку диаметром 3-7 мм или горячекатаную арматурную сталь периодического профиля класса S400 (А400; А-III), диаметром 6-9 мм. Длина арматурных сеток в рулонах ограничивается их весом, составляющим 100-500 кг, а ширина сеток до 3500 мм.

Плоские сетки изготовляют с продольной рабочей арматурой или в обоих направлениях из стержневой арматуры класса S400 (A400; A-III), диаметром 8-9 мм. Такие сетки готовят длиной до 9 м и шириной 1500-2650 мм.

Рабочую арматуру в сварных сетках располагают через 100-200 мм (шаг стержней), а распределительную - через 100-300 мм.

Тканые и сварные сетки изготовляют из термически обработанной низкоуглеродистой проволоки диаметром 0,7; 1; 1,1 и 1,2 мм.

Тканые сетки (ГОСТ 12184) готовят с квадратными ячейками размером от 6x6 до 12x12 мм, по которым обозначается номер сетки (от № 6 до № 12).

Сварные сетки (ВТУ 6-63) изготовляют с квадратными и прямоугольными ячейками размером 12x8, 12x12 и 12x25 мм с соответствующей маркировкой: № 12/8, № 12 и № 12/25. После номера сетки указывают диаметр проволоки в мм, из которой ее изготовляют.

Пространственные каркасы изготовляют из плоских сеток и отдельных стержней (проволок) контактной сваркой или вязкой на специализированных устройствах-кондукторах (например, для армирования шахт лифтов, санитарно-технических кабин, блок-комнат и других объемных, крупногабаритных изделий), либо на специализированном оборудовании (станках, технологических линиях). Например, при изготовлении каркасов для армирования колец смотровых колодцев, труб, колонн, свай с поперечным армированием ствола и др. изделий.

6.2 Характеристики классов и марок стальной арматуры.

В таблицах 3 и 4 приведен перечень классов стальной арматуры, включенных в номенклатурные документы, действующие на территории Беларуси, и их нормативные и расчетные характеристики.

Таким образом, *класс стали характеризует:*

- внешний вид арматуры (стержневая, проволока, канат, прядь) и состояние поверхности (гладкая, периодического профиля, рифленая);

- физико-технические свойства стали: прочностные - $f_{yk}(\sigma_T)$; $f_{tk}(\sigma_B)$; относительное удлинение при растяжении до разрыва $\delta(\%)$; способность к загибу в холодном состоянии без нарушений структуры на угол α при оправке $C=nd$;

- наличие упрочнения стали: $f_{0,2k}(\sigma_{0,2})$, а также указывает на нормирование ее состава, обеспечивающего большую коррозионную устойчивость (индекс «К») и свариваемость (индекс «С»).

Таблица 3. Перечень классов стальной арматуры.

Класс арматуры по СНБ 5.03.01	Обозначение согласно изменению №4 к СНиП 2.03.01	Обозначение согласно СНиП 2.03.01	Документ, регламентирующий качество арматуры
А. Перечень классов ненапрягаемой арматуры			
S240	A240	A-I	ГОСТ5781-82
S400	A400	A-III	ГОСТ5781-82 ГОСТ 10884-94 ТУ РБ 04778771.001-97 ТУ РБ 190266671.001-2002
S500	A500	-	ГОСТ 10884-94 ТУ РБ 04778771.001-97 ТУ РБ 400074854.047-97 ТУ РБ 400074854.025-2002 ТУ РБ 190266671.001-2002
	B _p -I B500	B _p -I -	ГОСТ 6727-80 СТБ 1341-2002
Б. Перечень классов напрягаемой арматуры			
S540*	A400	A-III _в	СТБ 1701
S800	A800	A-V	ГОСТ5781-82 ГОСТ 10884-94 ТУ РБ 04778771.001-97 ТУ РБ 400074854.025-2002 ТУ РБ 400074854.037-2002
S1200	A1200	A-VII	ГОСТ 10884-94 ТУ РБ 400074854.025-2002 ТУ РБ 400074854.037-2002
	Ø5, Ø6 B-II, B _p -II	Ø5, Ø6 B-II, B _p -II	ГОСТ 7348-81
S1400	Ø3, Ø4 B-II, B _p -II	Ø3, Ø4 B-II, B _p -II	ГОСТ 7348-81
	K-7	K-7	ГОСТ 13840-68
	K-19	K-19	ТУ 14-4-22-71

*Примечание: механические свойства, отсутствующей в таблице напрягаемой арматуры, принимаются в соответствии с действующими стандартами.

Таблица 4. Нормативные и расчетные характеристики стальной арматуры.

Класс арматуры	$k=f_{tk}/f_{yk}$	Нормативное сопротивление $f_{yk}(f_{0,2k}), \text{МПа}$	Расчетное сопротивление $f_{yd}(f_{0,2d}), \text{МПа}$	Расчетное сопротивление поперечной арматуры $f_{ywd}, \text{МПа}$	
А. Нормативные и расчетные характеристики ненапрягаемой арматуры					
S240	1.08	240	218	174*	157
S400	1.05	400	365	290*	263
S500	1.05	500	450(410)**	360* (328)**	324(295)
Б. Нормативные и расчетные характеристики напрягаемой арматуры					
S540	1.1	540	430		
S800	1.1	800	665		
S1200	1.1	1200	1000		
S1400	1.1	1400	1165		
* Для случая применения в вязаных каркасах.					
**В скобках приведены значения для проволочной арматуры по ГОСТ 6727-80 и СТБ 1341-2002.					

Например, запись для стержневой арматуры класса S240: $f_{yk}(\sigma_T) \geq 240$ МПа; $f_{tk}(\sigma_B) \geq 380$ МПа; $\delta \sim 25\%$; $\alpha=180^\circ\text{C}$ при $C=0,5d$, означает, что это горячекатаная гладкая арматура с фактическим пределом текучести не менее 240 МПа, временным сопротивлением разрыву не менее 380 МПа, относительным удлинением к моменту разрыва в 25%, способностью к загибу в холодном состоянии на 180° вокруг оправки диаметром в 0,5 диаметра загибаемого арматурного элемента.

Запись для стержневой арматуры, например, класса S800: $f_{0,2k}(\sigma_{0,2}) \geq 800$ МПа; $f_{tk}(\sigma_B) \geq 1000$ МПа; $\delta \sim 7\%$; $\alpha \sim 45^\circ$ при $C=5d$, означает, что это упрочненная (в современном производстве - термомеханически) профилированная арматура, с условным пределом текучести не менее 800 МПа, временным сопротивлением разрыву не менее 1000 МПа, относительным удлинением к моменту разрыва в 7%, способностью к изгибу в холодном состоянии на угол до 45° вокруг оправки, диаметром не менее 5 диаметров изгибаемого арматурного элемента.

Марки стали для арматуры железобетонных изделий приведены в табл. 5.

Индекс (обозначение) марки стали характеризует: группу стали - А, Б, В, каждая из которых включает 22 марки - от Ст0 до Ст6 сп; индекс группы «А» (из которой преимущественно изготавливают арматуру для железобетонных изделий (конструкций)) в маркировке не указывают; для стали группы «А» нормируют показатели указанных ранее (см. класс стали) механических свойств и, в зависимости от них, разделяют на категории 1; 2; 3 (цифру ставят в конце обозначения, при этом «1» - не ставят).

Таблица 5. Марки и сортамент стальной арматуры.

Класс арматурной стали	Сортамент (диаметр), мм	Способ обработки при изготовлении	Марка стали	Характеристика стали
1	2	3	4	5
S240 (A240; A-I)	6...40	горячий прокат	Ст 3 сп 3 Ст 3 пс 3 Ст 3 кп 3 В Ст 3 кп 2 В Ст 3 сп 2 В Ст 3 пс 2	Углеродистая обыкновенного качества групп А и В. Рекомендуется для изготовления монтажных петель
S400 (A400; A-III)	6...40 6...9	горячий прокат	25Г2С 35ГС 18Г2С	Низколегированная кремнемарганцовая, сваривается
S500 (A500) В _p -I, В500	10...32 3,4,5	горячекатанная холодно-тянутая	25С2Р (20ХГ2Ц; 20ХГСТ) Б Ст 0; Б Ст 1 кп; Б Ст 2 кп; Б Ст 3 кп.	Низколегированная кремнистая, умеренно сваривается. Низкоуглеродистая, содержание углерода не превышает 0,25%; хорошо сваривается
S540 (A400В; A-IIIВ)	6...18	упрочненная вытяжкой	25Г2С 35ГС 18Г2С	Низколегированная кремнемарганцовая, не сваривается
S800 (A800; A _T -V)	10...18	упрочненная термически или термомеханически	23Х2Г2Ц 23Х2Г2Т(Ф) 35ГС 20ГС; 10ГС	Низколегированная хромомарганцевая с цирконием. То же, с титаном (или с ванадием) Не сваривается
S1200 (A1200; A _T -VII)	10...25	То же	Устанавливается заводом изготовителем по ГОСТ 10884.	
S1200 В-II; В _p -II	5,6*	Холодно-тянутая	То же	Высокоуглеродистая (~ 0,6%) Не сваривается
S1400 В-II; В _p -II	3,4**	То же	То же	То же

*С обеспечением $f_{ук}(f_{0,2к}) \geq 1200$ МПа; ** ≥ 1400 МПа.

В сталях группы «Б» нормируют химический состав по содержанию углерода и легирующих добавок и разделяют на 2 категории: 1 и 2.

К сталям группы «В» предъявляют требования по химическому составу (как для группы «Б») и по механическим свойствам. Кроме этого, повышены требования по динамической прочности (ударной вязкости) при пониженных температурах (т.е. для конструкций, подвергающихся многократным динамическим воздействием и эксплуатируемым при глубоких отрицательных температурах). В зависимости от нормируемых показателей разделяют на 6 групп (например, ВСтЗсп2 - группа В, сталь 3, спокойная, категория 2).

Кроме группы стали в обозначении отражается: содержание углерода (в долях %); наличие и содержание легирующих добавок (в %), обозначаемое соответствующей буквой и следующие за ней цифрой; при этом отсутствие цифры показывает, что данной добавки менее 1%, цифра 1 - добавки от 1 до 1,5%, а 2 - добавки до 2%; степень раскисления: сп; пс; кп, стали информирует об отсутствии (сп), возможном наличии (пс) и безусловном (кп) наличии в мало раскисленной стали сферических пор, образованных окисью углерода СО.

В процессе получения стали, кроме СаО для связывания и удаления фосфора и серы (перевода в образующиеся шлаки), вводят в виде ферросплавов марганец и кремний (или алюминий). Они восстанавливают окись FeO и предотвращают последующую реакцию его с углекислотой воздуха с выделением СО. Образующиеся MnO; SiO₂; MgO₃ уходят в шлаки. Таким образом химические реакции раскисления предотвращают (для «сп» и минимизируют для «пс») образование дефектов структуры, которые под нагрузкой играют роль концентраторов напряжений и снижают механические свойства стали.

Основные вводимые в сталь легирующие добавки: Д – медь, Г – марганец, М – молибден, Н – никель, С – кремний, Т – титан, Х – хром, Р – фосфор; Ц – цирконий, Ф – ванадий, Ю – алюминий. Большинство вводимых добавок образуют с углеродом карбиды (TiC; VC; Fe₂W₂C и др.), являющиеся, как и составляющая стали - цементит Fe₃C, хрупкими, высокой твердости веществами.

Например: для класса стали S 800 марка: 23Х2Г2Тсп, либо 23Х2Г2Цпс, означает, что это в первом случае, низколегированная сталь с содержанием углерода 0,23%, хрома - от 1,5 до 2%, марганца - от 1,5 до 2%, титана - до 1%, спокойная (полностью раскисленная); а во втором - то же, но с легирующей добавкой циркония до 1%, полуспокойная (т.е., частично раскисленная).

Термически (термомеханически) упрочненные стали в маркировке класса могут иметь обозначения «С» и «К». Индекс «С» означает, что сталь можно сваривать (контактно-стыковой; контактно-точечной и шовно-стыковой сваркой). Временное сопротивление разрыву этих сталей должно быть на 49 МПа выше их значений без индекса «С».

Индекс "К" означает, что данная сталь обладает повышенной стойкостью коррозионного растрескивания под напряжением (за счет подбора химического состава стали и способа упрочнения, которые устанавливает завод-изготовитель, например, по согласованию с потребителем).

6.3 Упрочнение стали.

Повышение прочностных характеристик стали обеспечивают используя термический, механический и термомеханический способы ее упрочнения.

Термическое упрочнение стали включает *нагрев* на 30-50 °С сверх 728-910 °С (при меньшем значении для высокоуглеродистой ($C > 0,8\%$) стали), резкое (жидкостное) охлаждение - *закалку* (в воде; растворах солей; минеральном масле) и последующий *отпуск*. Отпуск включает нагрев до температур: 150...200 °С (низкий), 350...500 °С (средний) и 500...650 °С (высокий - основной для арматурных сталей), с последующим медленным остыванием в воздушной (или газо-воздушной - аммиака, метана и др.) среде. Газовая среда (например, аммиака NH_3 способствует «азотированию» поверхностного слоя металла, повышает коррозионную устойчивость и твердость внешнего слоя металла). Отпуск способствует упорядочению структуры стали, понижает ее хрупкость (из-за напряжений после закалки), сохраняет прочностные свойства упрочненной стали.

Механическое упрочнение горячекатанной арматурной (мягкой) стали, характеризующейся наличием площадки текучести при напряжениях уровня $f_{ук}$ (σ_T), МПа, заключается в приложении к ней растягивающей нагрузки и растяжение арматурного элемента с полным (иногда частичным) устранением площадки текучести (см. рис. 79). Перестройка структуры стали под влиянием пластических деформаций (зерна металла вытягиваются в направлении «течения» металла) называют *наклепом*.

Упорядоченная таким образом структура придает металлу высокие прочностные и упругие характеристики и, естественно, снижает его пластичность (деформативность).

Механическому упрочнению в процессе получения (путем протяжки через систему уменьшающихся в диаметре фильеров) подвергается стальная холоднотянутая проволока II-го класса. В этом случае эффект наклепа относится ко всему сечению получаемой проволоки, а ее характеристики отражаются диаграммой растяжения, приведённые на рис. 79 в).

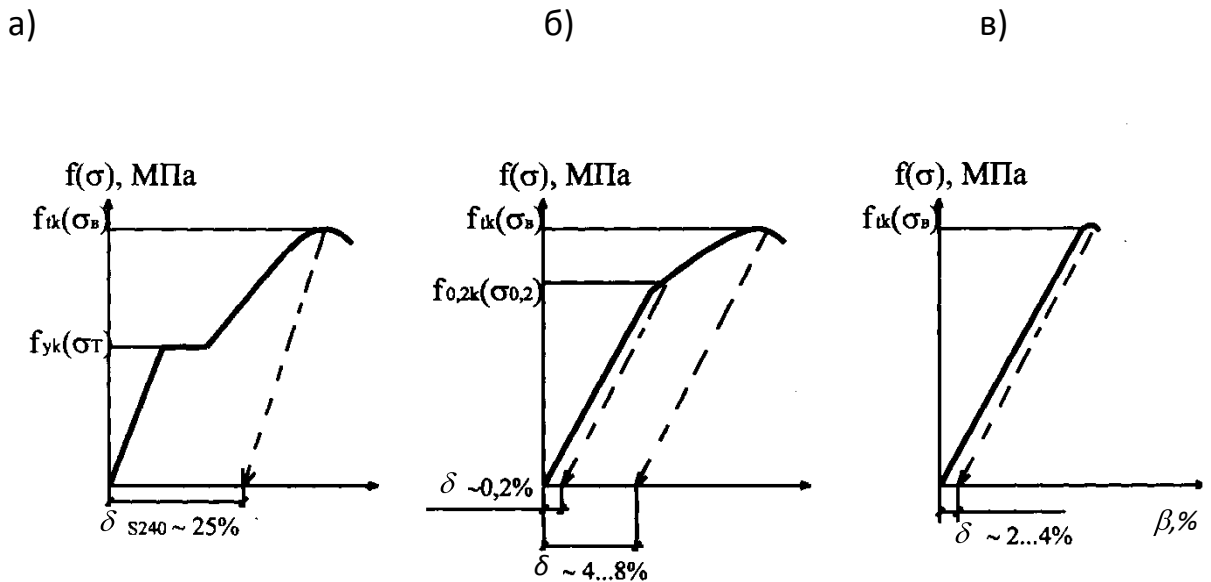


Рис. 79. Диаграммы растяжения стали

а) мягкая (горячекатаная) S240, S400, S500; б) упрочненная (S 540; S800; S1200); в) твердая (холодотянутая) S1200, S1400

Частичный наклеп имеет место в случае, когда гладкую арматуру (например, $\varnothing 12$ мм) протягивают через фильеры, обеспечивающие получение арматуры $\varnothing 10$ мм. В результате наклепу подвергаются внешние слои металла, а сердцевина остается в состоянии горячекатаной. Кроме частичного упрочнения внешнего контура сечения арматуры, она одновременно очищается (до блеска), но не теряет деформативных (способности к изгибу) свойств. Такой вариант обработки (подготовки) арматуры (которая затем дополнительно защищается специальными покрытиями от коррозии) практикуют заводы по производству армированных изделий из ячеистого (газосиликатного) бетона.

В *термомеханическом* способе упрочнения арматурной стали совмещаются оба способа за счёт использования соответствующего оборудования в процессе изготовления стержневой арматуры. Его практикуют современные производства (в т.ч. Белорусский металлургический завод). Сразу после прохождения через рельефообразующие валки прокатного стана (металл переходит в состояние наклепа) стальной профиль резко охлаждается струями воды под давлением, сохраняя состояние наклепа и высокие прочностные и упругие характеристики.

Необходимо подчеркнуть, что упрочненную и холодотянутую сталь (арматуру) нельзя сваривать. Температура сварки (например, температура электродуги при сварке плавлением достигает 6000°C) заведомо превышает

как температуру отпуска, так и плавки стали при соответствующем изменении свойств свариваемого металла и сечений (их уменьшения) свариваемых арматурных элементов. Для их соединений рекомендуется вязка, а также опрессовка концов в специальных гильзах или резьбовое соединение (при соответствующем профиле арматуры).

6.4 Преднапряжение арматуры.

Опыт использования железобетонных конструкций перекрывающих пролеты и работающих на изгиб показал, что под действием рабочих нагрузок и собственного веса они со временем прогибаются. Бетон растянутой зоны исчерпывает способность к пластическим деформациям и в нем образуются трещины. При этом оголяются участки арматуры (естественно тем более, чем шире раскрытие трещин) и создаются условия для ее коррозии. То есть, защитные слои бетона в зоне раскрытия трещин не выполняют свою основную функцию по защите арматуры. Развитие процесса коррозии стальной арматуры ускоряет деструктивный процесс, т.к. образующиеся продукты окисления металла занимают больший объем, чем исходные, и оказывают давление на защитный слой. Под этим давлением бетон защитного слоя испытывает растягивающее усилие и, при превышении предела прочности на растяжение, разрушается (вплоть до оголения корродирующей арматуры). Развитие этих процессов приводит к снижению (со временем - к потере) несущей способности конструкции. Скорость их развития зависит не только от трещинообразования бетона под нагрузкой, но и от наличия и степени агрессивности по отношению к стальной арматуре эксплуатационной среды и, естественно, возрастает с наличием последней.

С целью предотвращения прогиба железобетонных конструкций, работающих на изгиб, а также таких изделий, как напорные трубы (бетон которых работает на растяжение), железнодорожные шпалы и ряда других изделий и конструкций, осуществляют предварительное напряжение их рабочей арматуры.

Кроме повышения трещиностойкости и снижения (преимущественно - полного устранения) прогиба под рабочими нагрузками и собственным весом конструкции преднапряжение арматуры обеспечивает:

- рост непроницаемости бетона за счет уменьшения (частично - полного закрытия) сечений пор его структуры (включая, например, фильтрационные каналы - поры в центрифугированном бетоне), что повышает устойчивость бетона к агрессивному воздействию эксплуатационной среды, а за этот счёт - эксплуатационную надежность и долговечность конструкции;
- снижение расхода стальной арматуры при обеспечении равной несущей способности строительных конструкций (например, балок, ригелей, плит пе-

рекритий и др.) в сравнении с использованием ненапрягаемой арматуры, а также за счет использования высокопрочной арматурной стали;

- изготовление изделий первой категории трещиностойкости для работы под рабочими нагрузками без образования трещин;

- получение дополнительных эффектов, например, повышение морозо- и коррозионной стойкости бетона (за счет роста его непроницаемости) изделий, для которых механические эксплуатационные нагрузки вторичны, а среда эксплуатации агрессивна. Например, разнообразные преднапряженные железобетонные изделия: для обрамления русел рек, каналов, мелиоративного и причального строительства, технических трубопроводов, которые эксплуатируются в условиях переменного увлажнения-высушивания, замораживания-оттаивания, при воздействии как пресных, так и насыщенных агрессивными реагентами (сточных или природных грунтовых) вод и др.

Преднапряжение железобетона осуществляют:

- с передачей усилия от предварительно созданного напряжения в арматуре на бетон в процессе изготовления изделия, после набора бетоном прочности не менее 70% от ее уровня в проектном возрасте или большей, согласно проектной документации;

- с передачей усилия на бетон изготовленного изделия, в котором предусмотрены каналы для последующего расположения (введения) арматурных элементов преднапрягаемой арматуры. Этот вариант преднапряжения преимущественно практикуют для создания большепролетных (в основном ≥ 24 м) конструкций, объединяя изделия меньшего (преимущественно длиной до 6 м) размера;

- с использованием напрягающего бетона (на основе напрягающих цементов), свободные деформации расширения которого ограничивает расположенная в изделии арматура; благодаря этому в ней возникают растягивающие усилия, которые передаются на бетон, набравший к моменту расширения прочность порядка $\geq 15,0$ МПа, за счет внутреннего (профиль арматуры) и внешнего (жестко связанного с ней) анкерения.

Последний способ преднапряжения железобетона активно развивается в Беларуси (профессор В.В.Тур) на основе исследований и разработок советской научной школы профессора В.В. Михайлова и, при достижении устойчивых положительных результатов, будет безусловно перспективным к применению как в сборном, так и в монолитном вариантах строительства.

Способы преднапряжения арматуры, используемые при изготовлении железобетонных изделий: механический, электротермический и электротермомеханический, и примеры расчетов при их реализации подробно рассмотрены в приложении к настоящему пособию.

Механический способ преднапряжения характеризуется следующими преимуществами:

- низкой энергоемкостью при реализации;
- возможностью использования всего сортамента напрягаемой арматуры (стержни, проволока, канаты, пряди, пучки);
- наиболее высокой точностью контроля преднапряжения, т.к. его можно осуществлять как по усилию натяжения, так и по удлинению арматурных элементов;
- возможностью мягкой передачи усилия на бетон.

Недостатками этого способа являются высокая трудоемкость и затраты времени. Особенности технологии реализации механического натяжения арматуры связаны в основном с размерами (длиной) и количеством одновременно напрягаемых арматурных элементов, а также с размерами, особенностями армирования и способом изготовления изделий. В частности, для конвейерного и агрегатно-поточного способов производства преднапряженных изделий характерны относительно небольшие типоразмеры изделий (не превышающее 12 м, а в основном до 6 м), при соответствующей длине заготовок напрягаемой арматуры; кроме этого - осуществление преднапряжения за один прием (стадию).

Натяжение арматуры на коротких (до 25 м) и длинных стендах (зачастую длиной 100 м и более) выполняется в два приема. При этом (при наличии групповых захватов (одновременно напрягают 2 и более арматурных элемента)) в начале выполняют операции по их выравниванию для обеспечения равномерного натяжения арматуры; затем осуществляют натяжение 1-ой ступени (преимущественно на 40...50%) от расчетного уровня (после чего выполняют укладку ненапрягаемой арматуры и др. работы), а затем осуществляют 2-ю ступень натяжения, с перетяжкой на 105...110% от расчетного уровня. При этом напряжении арматуру выдерживают 3...5 минут (или другое расчетное время), а затем фиксируют на 100%-ом (расчетном) уровне напряжения.

После твердения бетона до уровня прочности, не менее 70% от прочности проектного возраста (но не менее 14,0 МПа, если в проектной документации на изделие отсутствуют иные указания), усилие преднапряжения арматуры передают на бетон. До начала этой операции удаляют формообразующие элементы, которые могут препятствовать свободным деформациям изделия при передаче усилия на бетон. Рекомендуется мягкая передача (одновременно всех или группы, или одиночных арматурных элементов) с помощью: домкратов, клиновых устройств, винтовых устройств, песочных муфт. Если невозможно использование указанных механических вариантов передачи усилия на бетон, допускается использовать нагрев арматуры перед обрезкой. Скорость снижения нагрузки (напряжения) при плавном режиме передачи: $V_{\text{сниж}} \leq 5 \text{ МПа/с}$; при неплавном режиме передачи: $V_{\text{сниж}} \leq 20 \text{ МПа/с}$.

Обрезку арматуры осуществляют пилами, газо-, бензорезами, электро-сваркой. Для объемных изделий (труб и подобного) рекомендуется передавать усилие на бетон последовательно симметрично относительно центра поперечного сечения по «звездочке»; предпочтительно одновременно с двух сторон.

Электротермический способ преднапряжения основывается на том, что при прохождении через арматурный элемент переменного электрического тока сталь разогревается и элемент удлиняется на расчетную величину. Уложенный на упоры стальной элемент остывает, а упоры ограничивают деформации сжатия (уменьшения длины) стали, чем создают в арматурном элементе напряженное (растянутое) состояние. Последующая передача на затвердевший бетон созданного таким образом усилия растяжения рабочей арматуры обеспечивает преднапряжение изделия.

Достоинством этого способа преднапряжения стальной арматуры является низкая трудоемкость и затраты времени. В этой связи он наиболее широко применяется при изготовлении преднапрягаемых изделий на агрегатно-поточных и конвейерных линиях, характеризующихся высоким темпом ведения работ (ритм потока $\leq 0,5$ ч). Рационален к применению при длине напрягаемых арматурных элементов до 12 м (и менее).

К недостатком способа следует отнести более высокую энергоемкость производства в сравнении с механическим, и меньшую точность контроля за уровнем напряжения арматуры, так как непосредственный контроль осуществляется по удлинению заготовок при нагреве. В этой связи электротермический способ преднапряжения арматуры не рекомендуется к применению в производстве изделий (конструкций) первой категории трещиностойкости.

На рисунке 80 приведена принципиальная схема устройств для электронагрева арматурных элементов. Они характеризуются наличием неподвижной и подвижной опоры, свободно перемещающейся под усилием расширения нагреваемых арматурных элементов. Отключение подачи тока (прекращение нагрева) осуществляется по достижении требуемого расчетного удлинения арматурных заготовок (элементов) с помощью конечного выключателя. Для предотвращения проскальзывания арматурных элементов относительно контактов подвода электрического тока, последние выполнены в виде зажимов. Арматурные элементы (заготовки) укладывают на токоподводящую часть (губку) зажима и прижимают силовой «губкой» контакта. Усилие прижима зависит от диаметра нагреваемых арматурных элементов и составляет $\geq 1,0$ кН ($\varnothing \leq 14$ мм), $\geq 2,0$ кН ($\varnothing > 14$ мм), $\geq 0,5$ кН (для проволоки $\varnothing \leq 8$ мм).

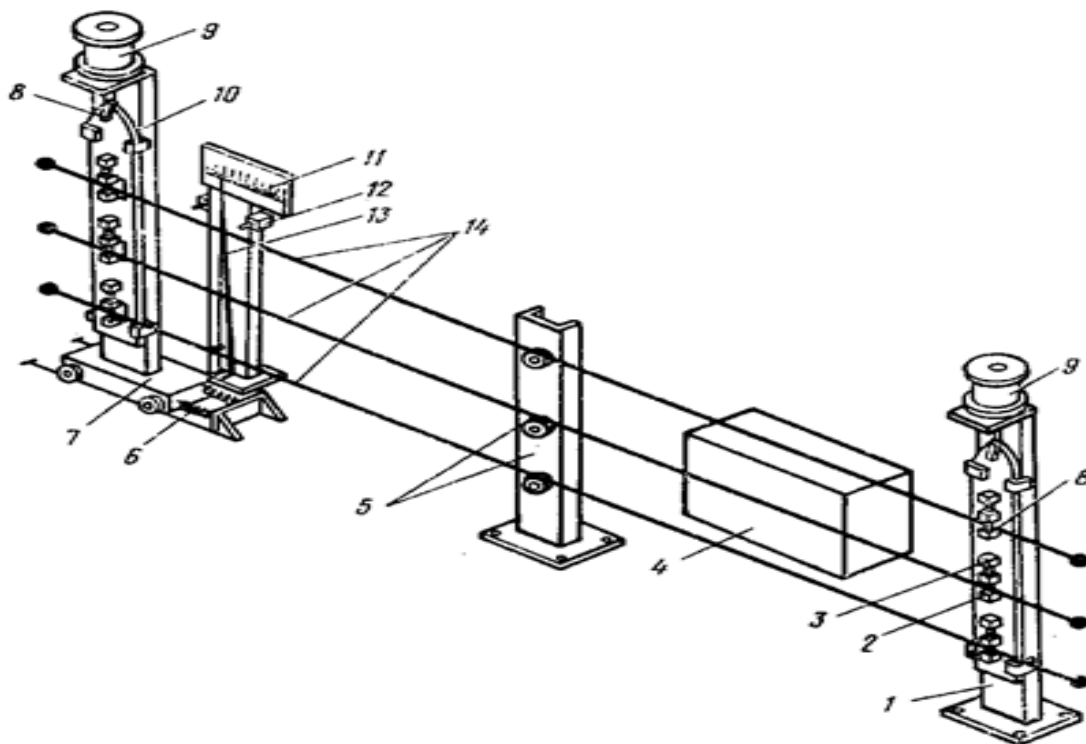


Рис. 80. Принципиальная схема устройств электронагрева

1 – неподвижная опора; 2 – токопроводящие «губки»; 3 – прижимные «губки»; 4 – шкаф управления; 5 – промежуточная опора; 6 – пружины; 7 – тележка; 8 – шланги; 9 – пневмоцилиндры; 10 – подвижная опора; 11 – шкала; 12 – конечный выключатель; 13 – стрелка; 14 – арматурные элементы.

Основные параметры нагрева арматуры при электротермическом способе ее преднапряжения – это расчетная температура нагрева арматурных заготовок (элементов), допускаемый уровень температуры нагрева стали, время нагрева.

Время нагрева не нормируется, оно зависит от параметров тока (силы и напряжения), диаметра нагреваемого(ых) элементов и их количества (связано с техническими характеристиками установок нагрева), и уровнем расчетной температуры нагрева. В зависимости от сочетания этих факторов время нагрева преимущественно составляет от 0,1...1,0 до 3...5 мин. и более (при меньших значениях для сортамента арматуры из проволоки). Продолжительность нагрева существенно не влияет на свойства термически упрочненных сталей, но влияет на механические характеристики холоднотянутой высокопрочной проволоки – снижает их. Поэтому время нагрева проволоочной арматуры не должно превышать величин, приведенных в таблице 6.

Таблица 6. Рекомендуемые и максимально допустимые температуры и время электронагрева арматурной стали

Класс арматурной стали	Температура электронагрева		Рекомендуемое время нагрева, мин
	рекомендуемая	максимально допустимая	
S540 (A400;A-IIIВ)	400	500	
S800 (A800;A-V)	450	500	
S1200 (A1200;A-YII)	400	450	0,5-5,0
S1400 (B-II;Bp-IIВ) Ø3	-	350	0,1 - 0,5
Ø4	-	400	0,1 - 0,6
Ø5	-	450	0,1 - 1,0

Примечание. При необходимости увеличения предварительного напряжения электротермическим способом стержневой стали указанных классов можно повышать максимально допустимые температуры электронагрева стали этих классов до 500 °С при автоматизированной технологии натяжения и контроля нагрева арматуры.

Расчетная температура нагрева (рекомендуется в пределах указанной в табл. 6) связана с требуемым удлинением нагреваемых заготовок (арматурных элементов) и рассчитывается по методике, изложенной в приложении (см. методику и пример расчета).

Допускаемый уровень температуры нагрева стали ограничивает ее значение в зависимости от способа получения и температуры отпуска при термическом или термомеханическом варианте ее упрочнения. Это связано с возможными изменениями (снижением) упругих и прочностных свойств перегретой стали, из-за изменений в ее структурном строении. При перегреве сталь дополнительно отпускается и непредсказуемо (т.е. требуется дополнительная оценка ее физико-механических свойств после нагрева) изменяются ее характеристики.

Электротермомеханический способ предварительного напряжения арматуры сочетает механическое создание в ней усилия (за счет подобранного веса груза) с электронагревом и температурным удлинением арматуры и последующим сжатием при ее остывании. Долевое соотношение предварительного напряжения этих составляющих соответствует: $\rho_{spm} (\sigma_{spm}) \sim 30...35\%$ и $\rho_{spt} (\sigma_{spt}) \sim 65...70\%$, от величины в $\rho_{sp} (\sigma_{sp}) = 100\%$. Способ предполагает непрерывную навивку гибкого сортамента арматуры: проволоки (B_p-II) 3...6 мм или каната К-7; Ø 6 мм, на вращающийся трубчатый элемент (например, железобетонный сердечник изготавливаемой напорной трубы) или на штыри поддона при изготовлении преднапряженных плит пустотного настила (или иных изделий). В начале и в конце процесса концы арматурного элемента

фиксируют специальными зажимами, привязкой с опрессовкой, или приваривают (например, при изготовлении труб с металлическим сердечником с электротермомеханическим или механическим способом натяжения спиральной арматуры).

На рисунке 81 представлена принципиальная схема электротермомеханического натяжения рабочей спиральной арматуры при изготовлении трубчатого изделия. Методика и пример расчета параметров этого процесса приведены в приложении.

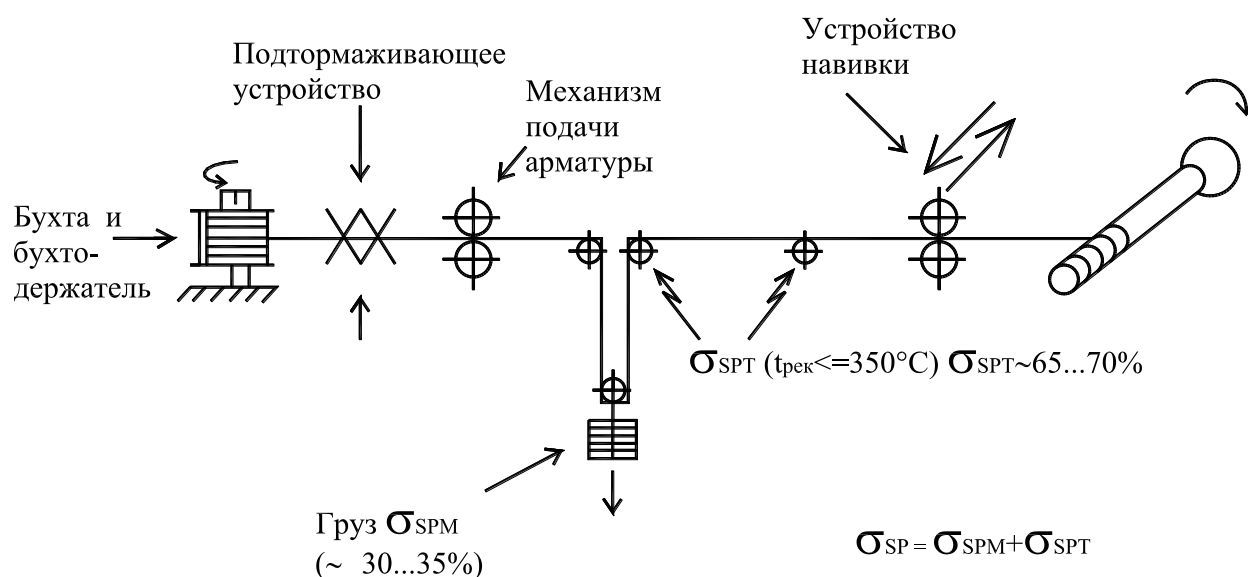


Рис. 81. Принципиальная схема электротермомеханического преднапряжения арматуры.

Создание доли механического усилия натяжения арматуры обеспечивается грузом, подобранным в соответствии с усилием, требуемым по расчету. Для обеспечения условия постоянного действия груза на проволоку (канат) он должен висеть на ней. Поэтому навиваемая арматура фиксируется между подтормаживающим устройством (для равномерного сматывания ее с бухт) и механизмом ее подачи, с одной стороны, и протяжным механизмом устройства для навивки, с другой. Электротермическую часть (долю) натяжения арматуры обеспечивает ее нагрев (при $t_{рек} \leq 350^{\circ}C$) при прохождении между токоподводящими роликовыми контактами. Расстояние между ними рассчитывается по методике приложения к настоящему пособию. Арматура в нагретом состоянии навивается специальным устройством на синхронизированно вращающийся трубчатый элемент (либо на штыри-упоры поддонов при изготовлении плоских (плитных) изделий). Деформации стали при остывании

ограничены внешним контуром трубчатого изделия (либо упорами поддонов), на бетон которого передается общее усилие обжатия механической и электротермической составляющей.

Анкерные устройства и зажимы служат для захвата и фиксации концов арматурных элементов в процессе натяжения арматуры. Они бывают многократного использования и временными. Зажимы многократного использования (частично представлены на рис. 82-84), предназначены для механического натяжения проволочной, канатной, прядевой и пучковой арматуры.

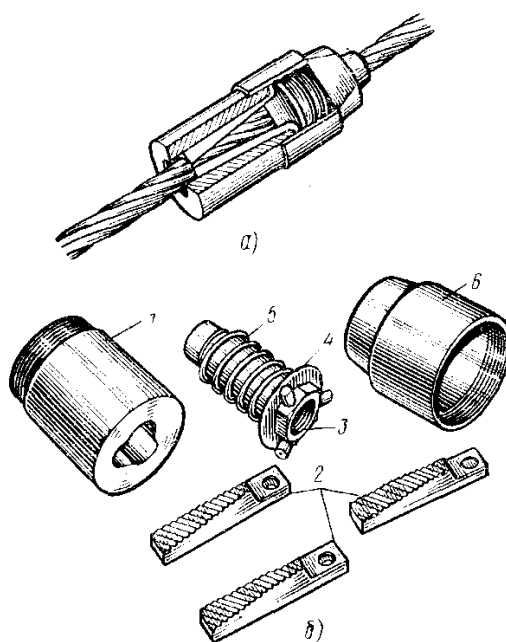


Рис. 82. Зажим конструкции НИИЖБа:

а — зажим в сборе; б — детали зажима:
 1 — корпус; 2 — губки зажимные; 3 — толкатель; 4 — шайба; 5 — пружина; 6 — хвостовик.

На рисунке 85 показаны варианты исполнения временных анкеров, предназначенных как для механического, так и для электротермического способов натяжения арматуры. Для последнего наиболее распространено использование стержней арматуры с анкером «высаженная головка» (в). Анкер устраивают на специальных станках, обеспечивающих кратковременный электроразогрев конца арматурной заготовки (предварительно на стержень надевают две опорные шайбы) до «пиропластического» состояния, а затем сталь опрессовывают, с увеличением диаметра головки в 1,5...2 раза относительно исходных. Тем самым на концах арматурного элемента фиксируются опорные шайбы, через которые анкер контактирует с упором формы (поддона).

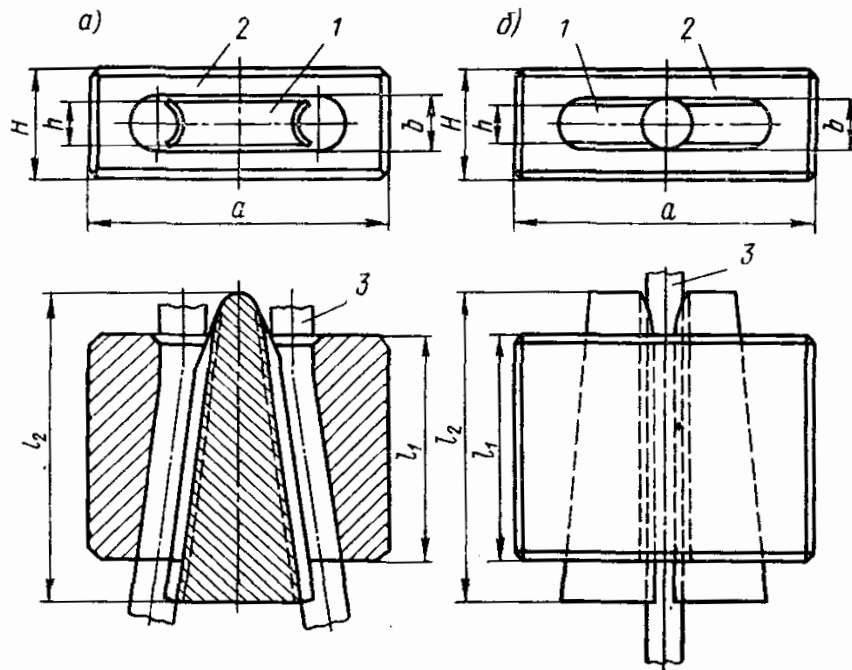


Рис. 83. Клиновые зажимы для прядевой арматуры:

а — для двух прядей; б — для одной пряди; 1 — клин; 2 — обойма; 3 — прядь

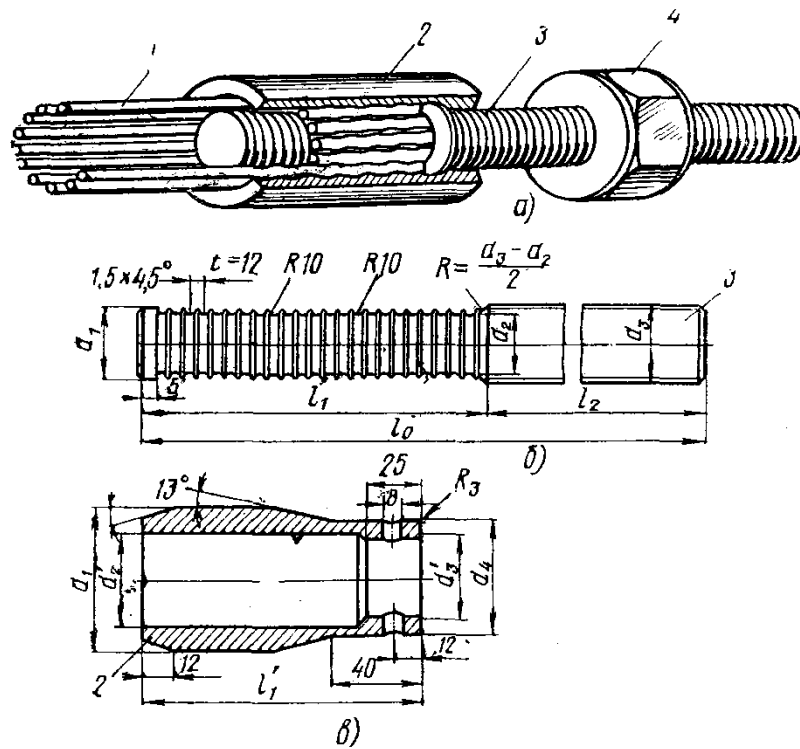


Рис. 84. Гильзо-стержневой анкер:

а — общий вид; б — основные детали; в — гильза; 1 — пучок; 2 — гильза; 3 — стержень; 4 — гайка

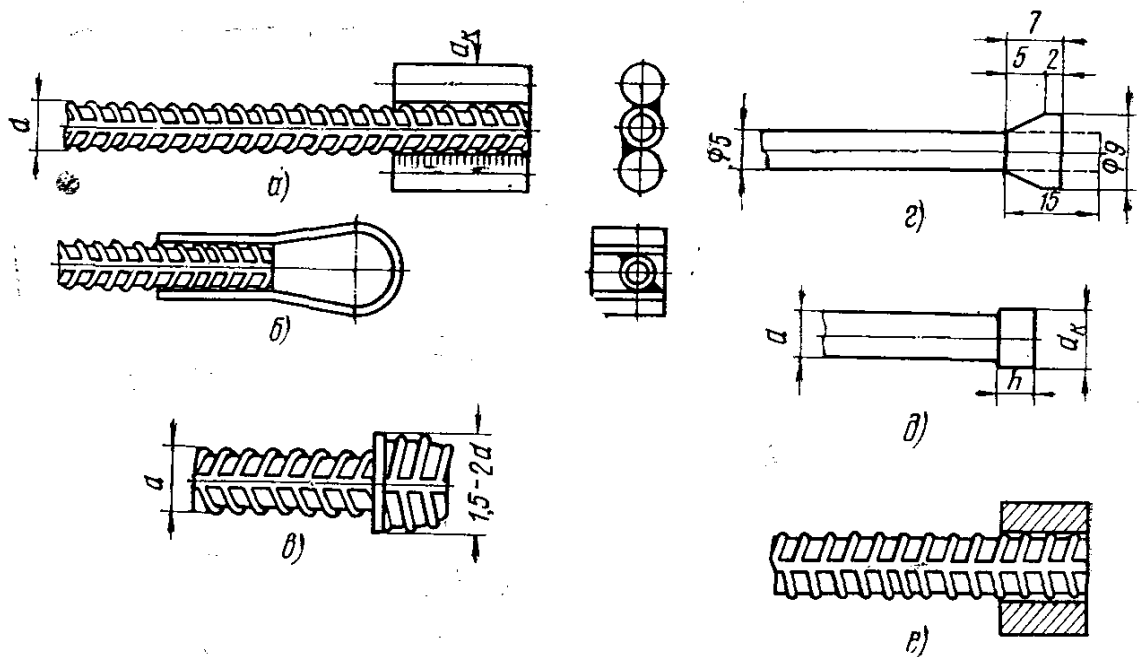


Рис.85. Временные анкеры:

а – с приваренными коротышами; б – с приваренной петлей; в – высаженная головка на стержне; г – высаженная горячим способом головка на высокопрочной проволоке; д – то же, холодным способом; е – с напрессованной и обжатой втулкой на стержне.

6.5 Неметаллическая арматура, фибробетон.

Неметаллическая (иначе называемая – композитная) арматура: стеклопластиковая (щелочестойкая), углеродная, базальтовая, находит все более широкое применение в строительном производстве.

Ее достоинства заключаются в высокой коррозионной устойчивости к воздействию разных эксплуатационных сред, меньшем весе (~ в 4 раза плотность этих материалов меньше плотности стали).

Широкое применение нашли арматурные элементы «гибких связей», выполненные из композитной арматуры и используемые при изготовлении трехслойных стеновых панелей различного назначения. Причиной является коррозия традиционной стальной арматуры в местах контакта внешнего и внутреннего слоев бетона с утеплителем (независимо от вида последнего). В итоге применение композитной арматуры обеспечивает долговременную и надежную совместную «работу» слоев бетона и конструкции в целом.

В таблице 7 приведены основные физико-механические свойства композитной стеклопластиковой арматуры.

Очевидно, что ее недостатком является низкий модуль упругости (кроме класса АНБ ВМ). В последнем случае, а также для углеродной и базальтовой арматуры модуль упругости соотносится с показателем стали. Вместе с тем

проблемой является анкерение композитной арматуры в зажимах, чтобы создать в ней преднапряжение. Местное сжатие приводит к нарушению структуры материала композитной арматуры, вплоть до разрушения. Кроме этого, недостатком является практическая невозможность создания загиба такой арматуры и ее сваривания.

Таблица 7. Характеристики стержневой композитной стеклопластиковой арматуры (тип «Лиана»).

Класс (маркировки)	Физико-механические свойства:				
	$f_{tk} (\sigma_B),$ МПа	$f_{yk} (\sigma_T),$ МПа	$E,$ н/мм ² (ГПа)	$\delta,$ %	$\rho,$ г/см ³
АНС	1250	-	60000 (60)	2,2	1,9
АНБ	1450	-	90000 (90)	1,6	1,9
АНБ ВМ	1850	-	≤ 200000 (≤ 200)	1,3	1,9
Сталь	380-1400	240-1200 ($f_{0,2k}$)	200000 (200)	25-5	7,8

Однако, несмотря на отмеченные недостатки композитной арматуры, ее применение в качестве ненапрягаемой имеет широкие перспективы. Их обеспечивает совершенствование ее производства, улучшение свойств, снижение стоимости (по сравнению со стальной арматурой) в сочетании с высокой коррозионной устойчивостью (значит – долговечностью).

Фибробетон или дисперсноармированный бетон получают, вводя в состав на стадии приготовления бетонной смеси фибру различных видов. При условии «равномерно-хаотичного» распределения элементов фибры в объеме смеси (затвердевшего бетона) этот прием позволяет существенно повысить физико-механические свойства бетона: прочность на растяжение и при изгибе, на сжатие, ударную вязкость, трещиностойкость. В фибробетоне применяют различные виды фибры, важнейшие характеристики которой приведены в таблице 8.

Повышение механических свойств и характеристик фибробетона (в сравнении с исходным бетоном) связано с эффектом армирования его структуры хаотично расположенными и ориентированными в разных направлениях элементами фибры. При работе бетона под нагрузкой они воспринимают растягивающие усилия, снижая их для цементного камня и бетона в целом. Поэтому в большей степени для фибробетона возрастает прочность на осевое растяжение и растяжение при изгибе, в меньшей – на сжатие. Так как известно, что при сжатии бетон разрушается от поперечных деформаций, превы-

шающих предел его деформативности и прочности при растяжении. Способствуя их росту фибра обеспечивает рост прочности на сжатие, но в меньшей степени.

Таблица 8. Характеристики фибры из различных материалов

Наименование	Диаметр	Модуль упругости, ГПа	Прочность на растяжение, МПа	Удлинение при разрыве, %
Стальная	$\geq 0,1$ мм	170...200	600...3150	3...4
Полипропиленовая	18...20 мкм	3,5	400...700	10...25
Стеклоанная	10...100 мкм	73,5...79	1800...3850	1,5...3,5
Базальтовая	20...500 мкм	7...60	1600...3200	1,4...3,6
Полиэфирная	0,1...1,5 мм	8,4...8,6	730...780	11...13
Вискозная	0,04...1,0 мм	5,6...5,8	660...700	14...16
Углеродная	3...15 мкм	200...250	2000...3500	1,0...1,6
Асбестовая	0,01...0,2 мкм	68...70	910...3100	0,6...0,7

Рациональной областью применения фибробетона являются тонкостенные изделия, элементы многослойных конструкций, плиты полов промышленных зданий (например, испытывающие ударные (динамические) эксплуатационные нагрузки). А также и другие изделия, к бетону которых предъявляют повышенные требования в части ударной вязкости (например, оголовки и острия забивных свай).

Особенности технологии приготовления фибробетона связаны с введением и равномерным распределением фибры в его объеме. Специально изготавливаемая синтетическая фибра производителями готовится с помощью дополнительной обработки поверхности, препятствующей комкованию и способствующей распадению на отдельные элементы в водной среде и при перемешивании бетонной смеси. Без этой обработки синтетическую фибру, а также металлическую фибру следует вводить специальными устройствами, обеспечивающими равномерную подачу материала при непрерывном перемешивании бетонной смеси. Дозировка фибры в бетон осуществляется в соответствии с предварительным расчетом и после оценки соответствия ее эффективности расчетным параметрам лабораторией предприятия (или профильной научно-исследовательской организацией).

7 ФОРМОВАНИЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.

7.1 Формуемость (удобоукладываемость) бетонной смеси.

Разнообразные способы и приемы формирования бетонных и железобетонных изделий, применяемое при этом оборудование предполагают использование бетонных смесей широкой гаммы консистенций. С учетом одинаковых требований действующих нормативных документов (систем СТБ; ГОСТ; EN) в определении марок по формуемости (удобоукладываемости) бетонных смесей в таблице 9 приведена классификация по маркам и соответствующие им требования по показателям СТБ 1035-96 «Смеси бетонные. Технические условия», а на рисунках 86-88 приборы, используемые для определения (оценки) этих показателей по СТБ 1545-2005 «Смеси бетонные. Методы испытаний».

Таблица 9 Марки и показатели формуемости (удобоукладываемости) бетонных смесей.

Удобоукладываемость по показателю жесткости		Удобоукладываемость по показателю подвижности		Удобоукладываемость по показателю расплыва конуса	
Марка	Жесткость (Ж), с	Марка	Осадка конуса (ОК), см	Марка	Расплыв конуса (РК), см
СЖ3	более 100	П1	1-4	РК-1	менее или равно 34
СЖ2	51-100	П2	5-9	РК-2	35-41
СЖ1	41-50	П3	10-15	РК-3	42-48
Ж4	31-40	П4	16-20	РК-4	49-55
Ж3	21-30	П5	21-25	РК-5	56-62
Ж2	11-20			РК-6	более 62
Ж1	5-10				

Примечания

1 Марки бетонной смеси, приведенные в таблице 6.1, между собой не связаны. Для бетонов, уплотняемых по специальным технологиям (например, при сухом формировании) удобоукладываемость смеси не классифицируется.

2 Смеси марок СЖ-1, СЖ-2, СЖ-3 относятся к группе сверхжестких; смеси марок Ж-1, Ж-2, Ж-3, Ж-4 жестких; смеси марок П-1, П-2 к низкопластичным, П-3, П-4, РК-1 к группе пластичных, смеси марок П5, РК-2, РК-3, РК-4, РК-5, РК-6 к группе литых бетонных смесей.

Методики определения (оценки) показателей формуемости бетонных смесей приведены в указанных «СТБ» и в данном тексте не приводятся.

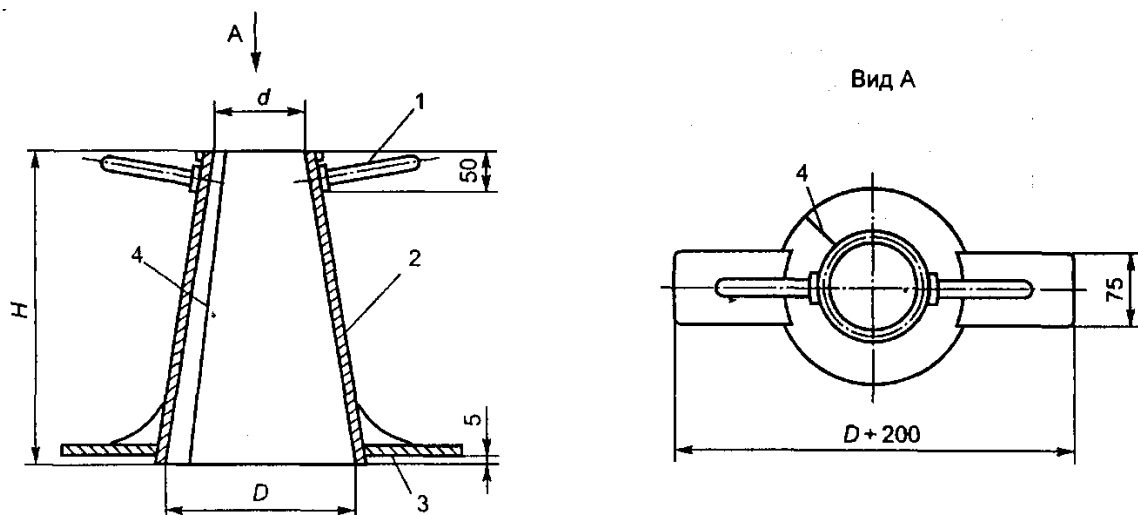


Рис. 86. Конус для определения показателей осадки и диаметра растекания конуса бетонной смеси:

1 — ручка; 2 — корпус; 3 — упор; 4 — сварной шов.

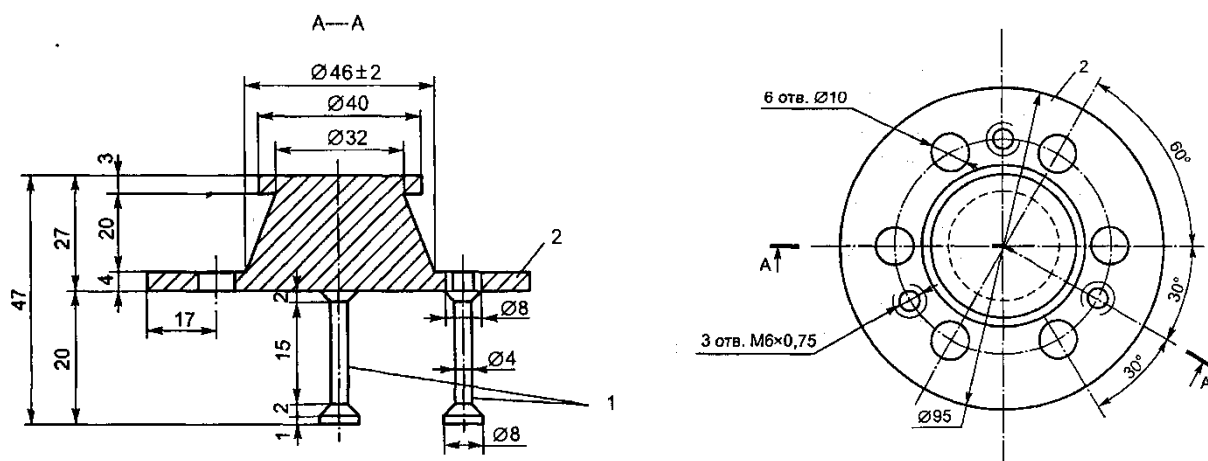


Рис. 87. Прибор Красного:

1 - ножки; 2 - диск.

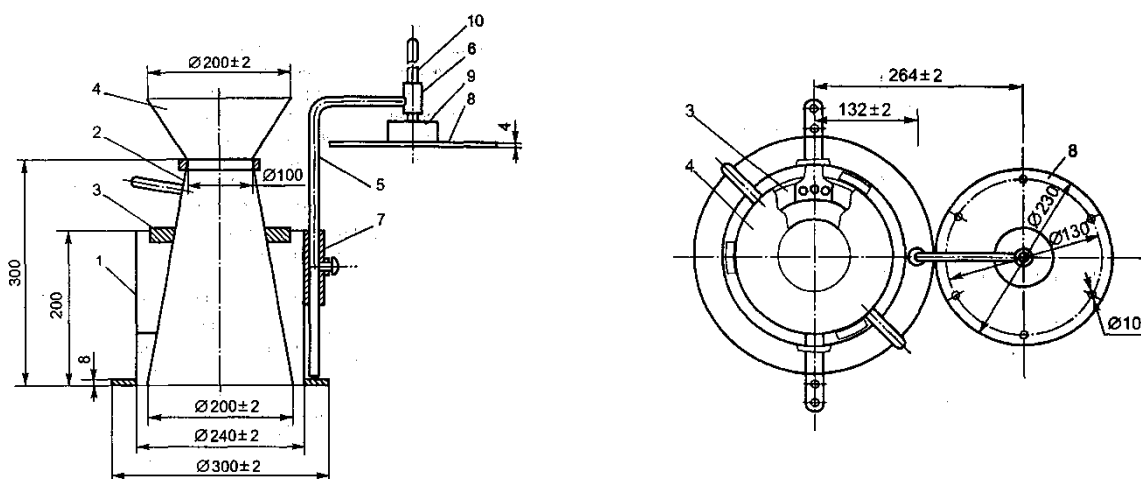


Рис. 88. Прибор для определения показателя жесткости.

1 — цилиндр с фланцем в основании; 2 — конус (без упоров); 3 — кольцо-держатель с ручками; 4 — загрузочная воронка; 5 — штатив; 6 — направляющая втулка; 7 — фиксирующая втулка; 8 — диск с шестью отверстиями; 9 — стальная шайба; 10 — штанга.

7.2 Общая характеристика способов формования.

Современные способы формования бетонных и железобетонных изделий можно разделить на две группы: вибрационные и безвибрационные.

Вибрационные способы, в свою очередь, различаются в зависимости от условий формования изделий: горизонтально либо вертикально формируемые, а также приемами формования и способами воздействия на укладываемый (формируемый) бетон.

Объемное вибровоздействие (в учебной и технической литературе иногда называют станковое вибрирование) осуществляют вибрированием форм и укладываемого бетона на виброплощадках различных типов. Так формируют большинство изготавливаемых плит (дорожных, аэродромных, полнотелых и пустотных перекрытий и др.), панелей наружных стен, а в многоместных формах — перемычек, вибрированных опор ЛЭП и освещения, свай и колонн и т.д.

При «глубинном» вибрировании вибровоздействию подвергается объем бетона в зоне действия вибровозбудителя, в качестве которого(ых) используют глубинные вибраторы и вибровкладыши различных типов. В заводском производстве изделий чаще используют не одиночные глубинные вибраторы, а пакеты из нескольких, обеспечивая одновременное уплотнение всего формируемого объема бетона (например, при формировании с их использованием блоков стен подвалов). Вибровкладыши представляют собой объемные пустотообразующие устройства, внутри которых системно (по соответствующему расчету) закреплены синхронно работающие вибраторы. Например,

вибровкладыши, образующие каналы пустот плит пустотного настила или вентиляционных блоков и т.п. Вибровоздействие на бетон "изнутри" способствует повышению качества уплотнения низкопластичных и жестких бетонных смесей, в частности, при формировании изделий с пустотами и немедленным удалением пустотообразователей (вибровкладышей) по окончании формирования.

Виброуплотнение бетонной поверхности при формировании разнообразных плит и подобной конфигурации изделий осуществляют с помощью виброреек. В этом случае вибровоздействие передается внешнему слою бетона и распространяется в глубь с потерей интенсивности. Поэтому (в зависимости от мощности устройства, консистенции бетонной смеси и др.) толщина уплотняемого слоя бетона не должна превышать 200...250 мм (включая изделия с однорядным по высоте расположением арматуры) и 100...120 мм при двухрядном ее расположении по высоте слоя уплотняемого бетона.

Виброуплотнение бетона с помощью навесных вибраторов, жестко закрепленных на бортах форм (например, для изготовления разнообразных блоков) либо на стенках отсеков кассет (внутренние стеновые панели и перегородки, плиты перекрытий и др. изделия), по существу являются разновидностью вибровоздействия на формуемый бетон с поверхности, при своеобразном сочетании с объемным вибрированием. Последний эффект в наибольшей мере проявляется при одновременной синхронной работе вибровозбудителей и их воздействие на формы, установленные на упругие опоры-основания. Примером эффективного сочетания вибрирования с поверхности и объемного за счет использования навесных вибраторов могут сложить приемы формирования (на стадии укладки (последней, с малым темпом подачи смеси) виброгидропрессованных труб, а также труб большого (2...3 м) диаметра, например, для коллекторов подземных коммуникаций. В обоих случаях системное расположение вибраторов на вертикально установленных формах обеспечивает комплексный эффект воздействия. А во втором - дополнительно, за счет запрограммированного системно-периодического включения в работу в определенной расчетной последовательности вибраторов разного уровня по высоте и расположению в плане конструкции формы.

Для качественного уплотнения жестких бетонных смесей необходимо сочетание вибрирования с давлением пригруза ($P_{пр} \sim 0,005...0,05$ МПа) на верхний слой формуемого бетона. Давление пригруза обеспечивает взаимный контакт водных оболочек на поверхности частиц твердой фазы, способствует формированию слитной структуры цементного теста на стадии формирования, на основе которой растёт плотность, непроницаемость и прочность цементного камня и бетона, достигается однородность его свойств по высоте сечения изделия. Одновременно придается (калибруется) требуемая высота, плоскостность и качество поверхности изделия. С целью повышения эффек-

тивности пригрузки оснащают вибраторами, сочетая вибровоздействию с давлением пригрузки. Так формируют плиты пустотного настила на агрегатно-поточных и конвейерных линиях, вентиляционные блоки (изготавливаемые горизонтально) и др. изделия из бетонной смеси с показателем жесткости преимущественно до 20 с (марок Ж1 и Ж2) и более.

Вибропрессование, как способ формирования, характеризуется сочетанием вибровоздействия с повышенным давлением пригрузов (пресующих устройств – $P_{пр} \geq 0,1$ МПа до 50,0 МПа). Так формируют мелкоштучные бетонные (в отдельных случаях - армированные) плиты, стеновые и бортовые камни и т.п. изделия. Основным диапазоном давления пригрузов на бетон в соответствии с $\sim 0,1 \dots 0,5$ МПа при показателе жесткости бетонных (преимущественно мелкозернистых) смесей 20...40 с (марок Ж2-Ж4). Давление прессования до 50 МПа характеризует специфичную технологию формирования плитных изделий с отжатием (за счёт пресующего усилия) воды затворения из ранее уложенного в форму-матрицу слоя водозатворенной смеси, в верхний - из сухой смеси вяжущего и заполнителей. Отжимаемая давлением вода пропитывает верхний слой отформованного бетона, в целом характеризующегося высокой плотностью и прочностью. Это слой обычно готовят на декоративных заполнителях, шлифуют, в итоге получая высококачественную декоративную (для пола, отделки) плиту.

Безвибрационные способы формирования. Центрифугирование - способ формирования изделий кольцевого сечения (реже - прямоугольного, с внутренней полостью кольцевого сечения) путем вращения форм вокруг продольной оси; возникающие центробежные силы создают пресующее усилие: $P_{прес.} \sim 0,2 \dots 0,5$, МПа (в зависимости от скорости вращения и радиуса формы (изделия)), способствующее отжатию части воды затворения и уплотнению формируемого бетона.

Прессование ($P_{прес.} > 1,0$ МПа) - способ формирования путем воздействия на бетон нормально приложенного к поверхности изделия давления ($P_{прес.} \geq 1,0$, МПа); различают прессование без отжатия воды затворения, с использованием жестких бетонных смесей, уплотняемых только за счет приложенного давления и сближения обводненных частиц (зерен) твердой фазы до образования слитной структуры цементного теста (формируемого бетона) и фильтрационное прессование, при котором уплотняют бетонные смеси за счёт отжатия и удаления части воды затворения и сближения (упорядочения взаиморасположения) частиц (зерен) твердой фазы. В обоих случаях под давлением возрастает расклинивающее действие жидкой фазы, что способствует дезагрегации цементных флокулов, перераспределению воды в объеме цементного теста бетона, вовлечению в реакции с водой большей площади поверхности вяжущего, росту плотности и прочности бетона.

Экструзия - способ безопалубочного формования на поддон плитных (сплошного сечения и с продольными пустотами) изделий, в котором совмещается прессующее усилие (давление) с динамическим воздействием на формуемый бетон, возникающие под действием вращающихся валов - шнеков. Бетонная смесь из приемного бункера устройства - экструдера попадает на вращающиеся валы-шнеки, которые нагнетают ее в формообразующую полость экструдера, движущегося по поддону. Верхняя плоскость поддона и полость экструдера создают формующую пару, обеспечивающую калибровку поперечного сечения формуемого «пласта» в соответствии с заданными размерами и конфигурацией. По требуемой длине изделия нарезают после твердения бетона.

Прокат - способ способ формования, при котором бетонная смесь уплотняется прессующим давлением вращающихся цилиндрических валов; преимущественно - нескольких, последовательно расположенных по движению формы (или непрерывной формообразующей ленты с боковыми и разделительными бортами, например, "стана Козлова". Катки расположены в устройстве с последовательным уменьшением высоты с целью постепенного уменьшения толщины слоя формуемого бетона до расчетной величины.

Вертикальное вальцевание (или радиальное прессование) - разновидность формования бетона прессующим давлением вращающихся цилиндрических роликов, симметрично расположенных на боковой поверхности общей цилиндрической основы - формующей головки, которая (при одновременном вращении вокруг своей вертикальной оси и перемещении относительно наружной формы) распределяет бетон и уплотняет его, прижимая роликами к внутренней поверхности формы. Для равномерного распределения бетонной смеси верхняя часть вращающейся формующей головки может быть выполнена в виде конуса, с радиально направленными "лопатками", перемещающими смесь к ее внешнему контуру.

Вакуумирование - способ формования бетона с созданием в его объеме разрежения, способствующего удалению части воды затворения, снижению водосодержания, сближению за этот счёт частиц (зерен) твердой фазы и росту в плотности и прочности бетона. Эффект усиливается за счёт удаление воздуха как "грубо заземленного" (от воздухововлечения во время приготовления бетонной смеси), так и из межзерновых пространств цементных флоккул. Это способствует вовлечению во взаимодействие с водой дополнительной реакционноспособной поверхности вяжущего, т.е. оказывает на него активирующее действие. Для качественного распределения без вибрации используют высокоподвижные и литые бетонные смеси. Широкого распространения способ не получил из-за значительной продолжительности обработки бетона при вакуумировании и проблем с фильтрами.

Нагнетание - способ формирования бетона с использованием подачи под давлением (бетононасосами) бетонной смеси в полость форм. Способ апробирован в опытно-производственном порядке при изготовлении изделий кольцевого сечения - бетонных труб и колец. Особенностью является непрерывная подача бетона в формы "снизу-вверх", то есть с нижней точки установленной под наклоном формы до выхода бетона в верхней точке, открытой в период подачи для удаления вытесняемого из полости формы воздуха. Способ специфичен, характеризуется ограниченной возможностью оперативного контроля качества процесса формирования; развития в современном заводском производстве изделий не получил.

Литьевая технология - постоянно совершенствующийся способ формирования бетона, в основе которого лежит использование литых (П5) самоуплотняющихся (РК-5; РК-6) бетонных смесей, полученных с использованием высокоэффективных пластифицирующих добавок и характеризующихся рядом отличительных особенностей в рецептуре бетона. В частности, применяемые добавки-пластификаторы должны обладать с повышенным водоредуцирующим эффектом для максимального снижения водосодержания бетона и обеспечение повышенной пластичности смеси, но без эффекта водораствороотделения. Так как, в противном случае, появляется опасность расслоение формируемого бетона. В рецептуру самоуплотняющегося бетона, кроме традиционных компонентов, вводят тонкодисперсные минеральные добавки с целью стабилизации формовочных свойств бетонных смесей и обеспечение их связности при формировании. Кроме этого, в составах бетона (в сравнении со смесями меньшей подвижности) увеличивают долю мелкого заполнителя в соотношении с крупным. Если при этом решается задача высокопрочного бетона, то одновременно понижают крупность его зернового состава и рекомендуется использовать кубовидный щебень. При изготовлении сборных изделий литые и самоуплотняющиеся смеси целесообразны к применению для стендового способа производства, то есть, при использовании неподвижных (неперемещаемых) форм.

Торкретирование (или "набрызг-бетон") - способ формирования бетона с уплотнением динамическим воздействием - ударом наносимого под давлением его "элементарного" объема на ранее поданные объемы (слои) бетона. Давление нагнетания создается сжатым воздухом ($P \sim 0,4...0,6$ МПа), которым бетонная смесь подается в специальное устройство - насадку. Ее конструкция может быть различной, включая вариант "насадки-пистолета", обеспечивающего подачу в смесительную камеру рубленой синтетической волоконной фибры. Во всех случаях смесительная камера насадки (иногда называют - сопло) обеспечивает вращательное движение потока бетонной смеси и ее выход в виде факела. Рациональная скорость движения смеси на выходе составляет 100...130 м/с. Способ специфичен и рационален при

устройстве тонкостенных слоев бетона строительных изделий (конструкций). В производственных условиях апробирован при изготовлении (устройстве бетонных слоев) трехслойных стеновых панелей на гибких связях. Может быть рациональным при штучном и малосерийном производстве изделий сложной конфигурации.

7.3 Вибрационный способ формования и уплотнения бетона.

Сущность и эффективность вибровоздействия. В процессе вибрационного воздействия на бетон можно выделить три стадии: формование, уплотнение и стадию компрессии. Они могут быть явно выраженными (например, при формовании жестких бетонных смесей) и визуально не определяемыми или малозаметными во внешних проявлениях при виброформовании изделий из пластичных смесей.

Формование, как начальная стадия вибрационного уплотнения бетона, сопровождается уменьшением его первоначального (уложенного в форму) объема за счет более компактного расположения зерен заполнителей, частичного удаления вовлеченного в бетонную смесь воздуха, перераспределения жидкой фазы, уплотнения структуры цементного теста, как следствия этих процессов. В результате бетонная смесь заполняет форму с приданной ей конфигурацией.

Уплотнение бетона по существу является глубинным процессом, отражающим изменения в объеме цементного теста под воздействием вибрации. Его развитие начинается одновременно с формованием, но углубляется по его завершении. Дальнейшего уменьшения объема вибрируемого бетона практически не происходит, т.к. к этому времени сформирован достаточно жесткий объемный «каркас» из зерен заполнителей, разделенных и, одновременно, объединяемых (связываемых) прослойками цементного теста. В объеме последнего проявляется эффект временного разжижения (тиксотропии), который способствует продолжению процесса удаления воздуха и перераспределения воды, т.к. совместное действие тонких пленок жидкости и вибрации вызывает распадение флоккулов цемента, оголяя дополнительную реакционно способную поверхность вяжущего. Одновременно более компактно располагаются сольватированные (обводненные) зерна цемента, что в целом создает основу для роста плотности и прочности цементного камня и бетона.

Компрессия – процесс некоторого увеличения объема виброуплотненного бетона после прекращения вибровоздействия.

В пластичных бетонах этот эффект практически не проявляется, т.к. их воздухововлечение незначительно, а отформованный бетон эластичен и упругое «последствие» сжатого воздуха не проявляется.

При уплотнении жестких бетонных смесей с пригрузами (и, особенно, при вибропрессовании) зацементированный в объеме уплотненного бетона воздух сжат. Его упругое последствие при снятии давления пригруза может вызвать деформации свежееотформованного бетона, способные сопровождаться образованием трещин. При значительных объемах вовлеченного воздуха они могут проявиться сразу после формирования, либо в процессе последующего твердения (тепловой обработки) бетона.

Тиксотропия – эффект временного разжижения цементного теста под воздействием вибрации. Вызываемые ей перемещения цементных зерен (флоккул) внутри сольватных (водных) оболочек способствует выходу части адсорбируемой ими жидкости из зоны притяжения за счет потенциала их поверхности в свободное состояние. Не связанная силами поверхности твердой фазы вода свободно мигрирует в объеме цементного теста и бетона, временно придавая им свойства тяжелой жидкости и обеспечивая развитие ранее рассмотренных эффектов процесса формирования – уплотнения бетона.

Интенсивность проявления эффекта тиксотропии, а также темп развития процесса формирования-уплотнения связаны с явление резонанса в объеме вибрируемого бетона, который в свою очередь, зависит от амплитуды (A , мм) и частоты (f , кол/с (Гц)) колебаний. Вместе с тем достаточно сложно вызвать резонансные явления в полифракционной бетонной смеси, в которой множество зерен цемента имеют размер ≤ 10 мкм, а размер зерен крупного заполнителя достигает 20...40 мм (и даже более). Известно, что с ростом размера частиц (зерен) твердой фазы эффект резонанса достигается при колебаниях с высокой амплитудой при малой частоте, и наоборот, для проявления резонанса в системе «цемент-вода» требуется высокочастотное вибрирование. В этой связи на стадии формирования бетона было бы рационально вибровоздействие с высокой амплитудой при малой частоте, а для его уплотнения - с высокой частотой, т.е. вариант поличастотного вибрирования.

Попытки реализации такого подхода были многочисленными, но не получили должного развития. Одной из наиболее перспективных разработок было предложение, разработанное в Белорусском политехническом институте (ныне – БНТУ) В.П. Лукьяновым – И.Н. Ахвердовым. Ими предложен гидроимпульсный способ вибрирования, сущность которого в том, что опорами виброплощадки являются гидроцилиндры, а рабочее тело – масло под давлением, подается к ним по трубопроводу, включающему вращающийся ротор с системой специальных сквозных отверстий. Подача масла регулируется скоростью вращения ротора, а в результате виброплощадка может работать в управляемом режиме. Вначале (при формировании бетона) с большой (до 6...10 мм) амплитудой при малой (200...600 кол/мин) частоте колебаний и плавно переходить при его уплотнении на режим работы с частотой до: $f \leq 200$ Гц (т.е. $\leq 12\ 000$ кол/мин), при амплитуде: $A \sim 0,1...0,3$ мм. Разработка

успешно прошла опытно-производственную обработку, но не получила дальнейшего развития. Было бы рационально ныне обучающимся технологии бетона продолжить развитие в данном направлении.

Интенсивность вибрирования. Исследованиями эффективности вибрационного воздействия на бетонные смеси различных составов и консистенций было установлено, что она связана и может быть оценена интенсивностью вибрирования, которая соответствует скорости движения элемента вибровозбудителя: $A \cdot f$, умноженной на ускорение: $A \cdot f^2$, или:

$$I = A^2 \times f^3, \text{ см}^2/\text{с}^3, \quad (6)$$

где A – амплитуда колебаний (т.е. путь движения) в см;

f – частота колебаний в Гц или кол/с.

Стандартными параметрами принято считать амплитуду: $A_{\text{стандартная}} = 0,5$ мм = 0,05 см, и частоту $f_{\text{стандартная}} = 50$ Гц (50 кол/с). Тогда интенсивность вибрирования со стандартными параметрами: $I_{\text{станд.}} \sim 312,5 \text{ см}^2/\text{с}^3$.

Из зависимости (6) следует, что интенсивность и эффективность вибровоздействия в большей степени увеличивается с ростом частоты колебаний, чем с увеличением амплитуды, что подтверждается экспериментально и производственной практикой. Таким образом, чем ниже подвижность (ОК; РК) или выше жесткость (Ж) бетонной смеси, тем больше должна быть интенсивность вибровоздействия («И») для ее качественного уплотнения.

При этом эффективность или качество уплотнения, интенсивность и время вибрирования (t_v) связаны между собой зависимостью:

$I_1 \cdot \tau_1 \sim I_2 \cdot \tau_2 \sim I_n \cdot \tau_n$, то есть, *эффективность вибровоздействия* : $\mathcal{E} \sim I_n \cdot \tau_{v,n}$, связана с величиной «И» и « τ_n » прямой зависимостью. Это значит, что равную эффективность или качество (степень) уплотнения при разной интенсивности вибрирования можно обеспечить регулируя время уплотнения бетона.

Качество или степень уплотнения характеризует *коэффициент уплотнения бетона*:

$$K_{\text{упл}} = \rho_{\text{факт}}^{\text{см}} / \rho_{\text{рвсч}}^{\text{см}}, \text{ доли ед.}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{факт}}^{\text{см}}$, кг/м³ и $\rho_{\text{рвсч}}^{\text{см}}$, кг/м³ – фактически установленная средняя плотность отформованной бетонной смеси и средняя расчетная плотность бетонной смеси, соответственно. По СТБ 1035 величина коэффициента уплотнения должна быть не менее $K_{\text{упл}} \approx 0,94 \dots 0,99$ при меньших значениях для жестких бетонных смесей. Соответственно воздухоовлечение (расчетное) для приведенных значений $K_{\text{упл}}$ составит 6...1 %. При этом фактическую среднюю

плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии следует определять по СТБ 1545 с использованием мерного цилиндра.

Время вибрирования пластичных бетонных смесей рекомендуется определять по эмпирической формуле «Лукъянова-Ахвердова»:

$$\tau_{\text{вibr.}} = K_{\text{в}} \cdot \tau_0 \cdot \left(-V_{\text{р.с.}} \right)^{\text{с}}, \quad (8)$$

где $\tau_0^{\text{с}}$ – предельное напряжение сдвига бетонной смеси, Па, которое определяют расчетом по данным состава бетона (примерно соответствует 1500...500Па для марок по подвижности «П-1»...«П-4»);

$K_{\text{в}}$ - эмпирический коэффициент, зависящий от частоты колебаний и равный $f = 50 \dots \geq 200$ Гц для $K_{\text{в}} = 0,05 \dots 0,02$;

$V_{\text{р.с.}}$ – объем растворной части бетона, м^3 , который определяют по данным расчета его состава из зависимости: $V_{\text{р.с.}} = 1 - \text{Щ} / \rho_{\text{щ}}^3, \text{м}^3$, при содержании (расходе) крупного заполнителя в количестве «Щ», кг, и плотности его зерен « $\rho_{\text{щ}}^3$ », $\text{кг}/\text{м}^3$.

Время вибрирования жестких бетонных смесей не поддается достоверному расчёту и устанавливается с учетом показателя жесткости бетонной смеси и сочетания условий формования: интенсивности вибровоздействия; наличия и давления пригруза или давления прессования; требуемого темпа (режима) формования.

На рисунках 89 и 90 соответственно отражены: влияние времени вибрирования на прочность бетона (на сжатие) на примере уплотнения низкопластичной (марка П1 (при ОК ~ 1 см)) бетонной смеси и общая тенденция взаимосвязи между временем вибрирования ($\tau_{\text{в}}$, с) и формованием (удобоукладываемостью) бетонных смесей разной консистенции.

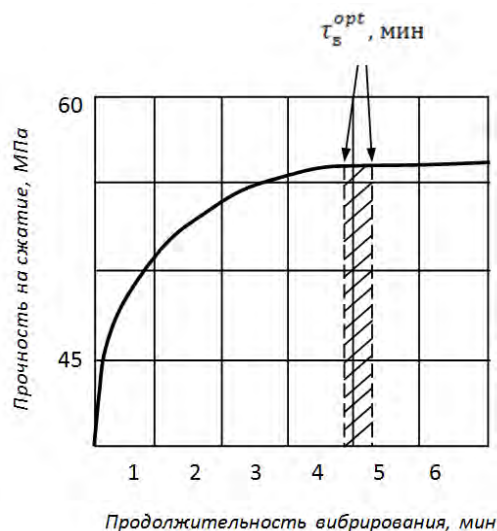


Рис. 89. Влияние продолжительности вибрирования на прочность бетона.

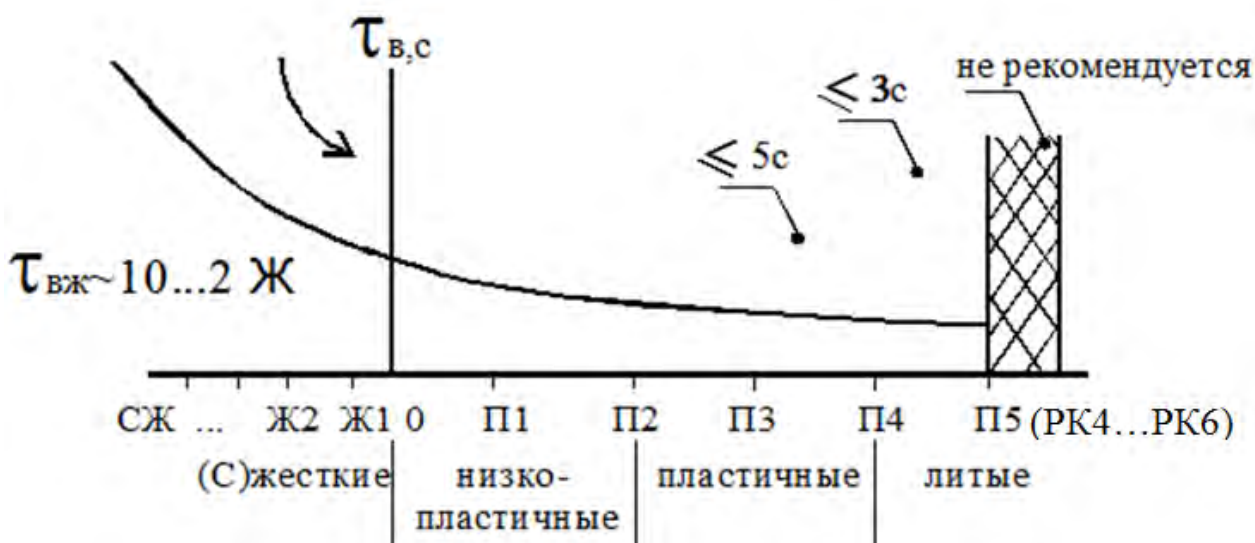


Рис. 90. Тенденция взаимозависимости " $\tau_{\text{вибр}}$ – формуемость бетонной смеси".

Из графической зависимости рис. 89 следует, что увеличение времени вибрирования сверх оптимального нецелесообразно, т.к. не приводит к росту прочности бетона, но будет сопровождаться ростом энергозатрат и ускоренным износом оборудования. Необходимо отметить, что приведенный пример характерен для случая, когда продолжительное вибрирование не вызывает расслоение бетона. Повышение пластичности бетонной смеси и проявления тенденции к расслоению, усиливаемой продолжительным вибрированием, приведет не к стабилизации показателя прочности бетона (график рис. 89), а к ее снижению при превышении времени вибрирования над оптимальным.

График рис. 90 отражает общую тенденцию взаимосвязи между временем вибрирования, необходимым для качественного уплотнения бетонных смесей, и их консистенций. С целью предотвращения расслоения бетона по высоте уплотняемого слоя и изделия в целом, действующими нормативами ограничивается рекомендуемая высота одновременно укладываемого слоя тяжелого бетона ≤ 400 мм и легкого ≤ 200 мм. В соответствии с приведенными на рис. 90 данными для смесей, характеризующихся осадкой конуса в 10...20 см не рекомендуется уплотнение вибрированием более 10...5 с соответственно. Литые бетонные смеси и характеризующееся расплывом конуса ≥ 49 см вибрировать не рекомендуется. Кратковременное (≤ 3 с) включение вибрации при обязательной послойной укладке бетона по высоте формы (изделия) может (как исключение из правила) применяться при формировании тонкостенных, с высокой степенью армирования ($\geq 3\%$), конфигурационно

сложных изделий (в частности, при вертикальном формовании вентиляционных блоков, сантехкабин, шахт лифтов и т.п.) с применением бетонных смесей такой консистенции.

Эффекты, сопровождающие вибровоздействие и обеспечивающие рост плотности, непроницаемости и прочности бетона:

- более компактное расположение зерен твердой фазы (крупного и мелко-го заполнителей, а также цемента);
- удаление воздуха, вовлеченного в бетонную смесь на стадии приготовления, подачи и укладки в формы;
- более равномерное распределение воды в объеме бетона, уменьшение толщин сольватных оболочек вокруг зерен твердой фазы, включая цемент;
- распадение цементных флоккул (деагрегация цемента), удаление воздуха из межзернового пространства флоккул;
- рост однородности (гомогенности) и плотности формирующейся структуры цементного теста за счет увеличения числа взаимных контактов и роста энергии связи между сольватированными частицами вяжущего (рис. 91).

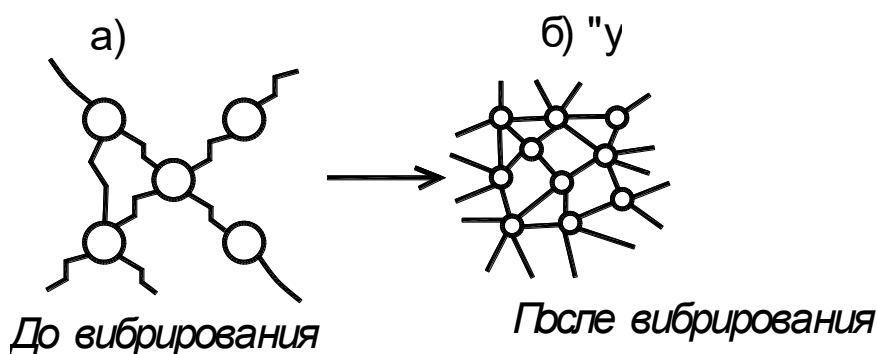


Рис. 91. Имитация структуры цементного теста "до" (а) и "после" (б) вибровоздействия.

Рост плотности, непроницаемости и прочности бетона, подвергнувшегося виброуплотнению, основывается и является следствием развития означенных эффектов.

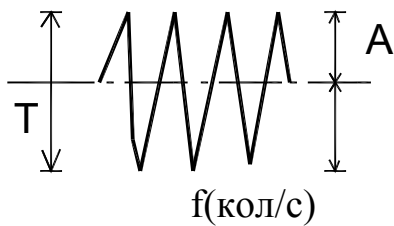
Вибрирование при уплотнении бетона может реализовываться в различных вариантах:

- с использованием гармоничных и негармоничных колебаний (рис. 92);
- вертикально, либо горизонтально направленными колебаниями;
- сочетанием горизонтально и вертикально направленных колебаний;
- с использованием круговых колебаний;
- с использованием эффекта удара по упругому основанию и негармоничных колебаний;

- в варианте моно- и поличастотного вибрирования;
- в варианте повторного (дополнительного) вибрирования.

На рисунках 93 и 94 показаны принципиальные схемы виброплощадок и вариантов создания вертикально направленных колебаний (рис. 93 и 94 в; г), вертикально-круговых (рис. 94 а;б), горизонтально направленных (рис. 94 е) колебаний и создание негармоничных колебаний виброплощадки – «шок-стол» (рис. 94 д).

а)



б)

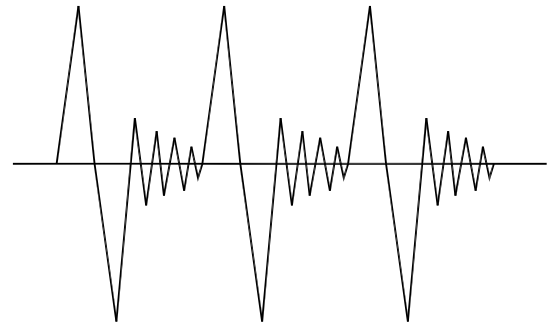


Рис. 92. Гармоничные и негармоничные колебания при вибрации.

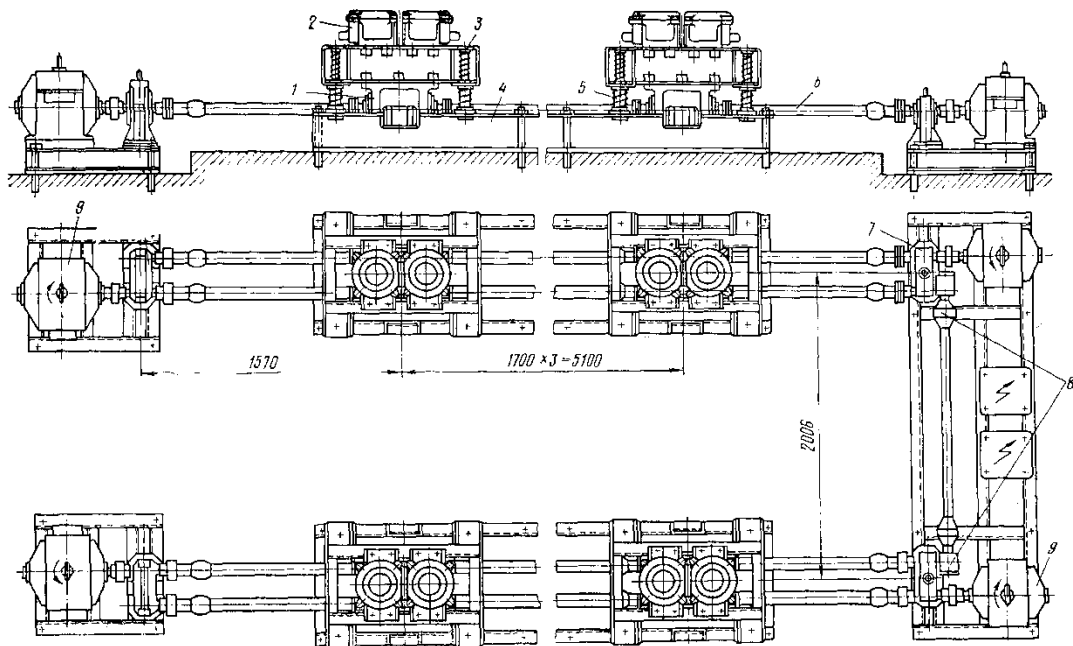


Рис. 93. Принципиальная схема виброплощадки с вертикально направленными колебаниями:

1 – двухвалый вибратор; 2 - прижимный электромагнит для крепления форм к вибростолу; 3 – промежуточная рама; 4 - опорная рама; 5 – пружинная опора; 6 – карданный вал; 7 – малый синхронизатор; 8 – большой синхронизатор; 9 электродвигатель.

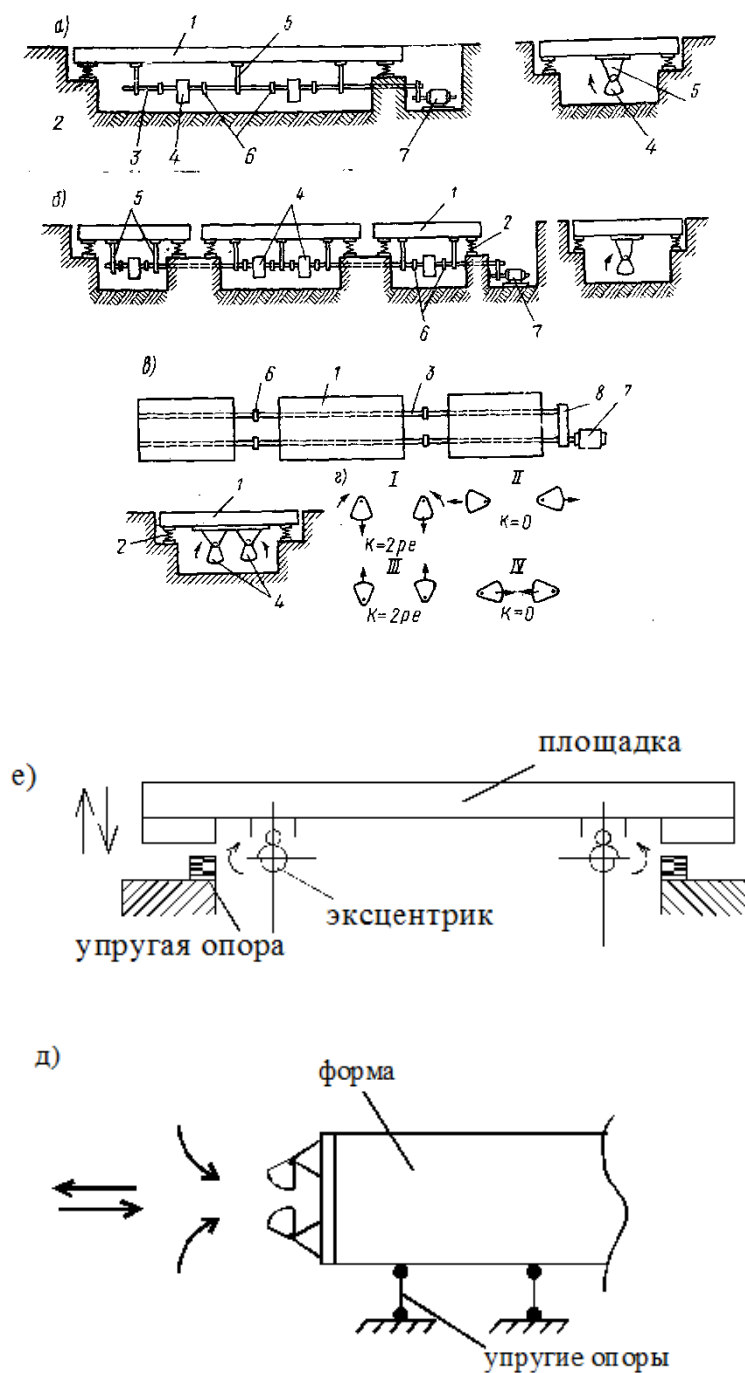


Рис. 94. Принципиальные схемы виброплощадок

а - виброплощадка с общей колеблющейся рамой (вибростолом) с ненаправленными круговыми колебаниями; б — то же, с отдельными синхронно колеблющимися вибростолами с ненаправленными круговыми колебаниями; в — то же, с вертикально направленными колебаниями (вид сверху и с торца); г — схема работы двухвальных дебалансных вибраторов при вращении дебалансов в противоположные стороны; е – площадка “ударного” принципа действия или “шок-стол” с негармоничными колебаниями; д – принципиальная схема создания горизонтально направленных колебаний форм

1 — вибростол; 2 — пружинные опоры; 3 — вибровал; 4 — дебалансы; 5 — подвески для подшипников вала; 6 — гибкие муфтовые соединения; 7 — электродвигатель; 8 — шестереночный синхронизатор.

Наиболее широко распространены и эффективны виброплощадки с вертикально направленными (гармоничными) колебаниями, которые создают за счёт встречного вращения парных равновеликих дебалансов (рис. 93 и 94 в; г).

Вертикально-круговые колебания обеспечиваются вращением одиночных дебалансов с приданием вертикального перемещения за счёт направляющих опорных элементов (рис. 94 а; б)

Вертикально-горизонтальные колебания обеспечивают конструктивным решением привода дебалансов, которые располагают под острым углом к нижней поверхности стола виброплощадки. В результате при вращении дебалансов появляется и вертикальная, и горизонтальная составляющие колебаний (здесь не приведены).

Горизонтально направленные колебания формам придает встречное вращение парных дебалансов (рис. 94 е); этот вариант рационален при совпадении направления колебаний с продольной осью форм (например, для балок и т.п.) и уплотнении пластичных бетонных смесей.

Негармоничны колебания, отличающиеся амплитудой и частотой (рис. 92 б;) характерны для виброплощадок - "шок-столов"(рис. 94 д). Падение с эксцентриков силовой рамы на упругие опоры сопровождается проявлением затухающих колебаний стола виброплощадки. Создается эффект поличастотного вибрирования. Рациональны при формировании малогабаритных, тонкостенных изделий при консистенции смеси марок "Ж1-П1".

Особенностью формования жестких бетонных смесей является то, что вся вода затвердения находится в связанном состоянии за счёт сил потенциала поверхности твердой фазы: цемента, заполнителей (наполнителей, при наличии в составе), пылевидных фракций заполнителей. Чем выше показатель жесткости бетонной смеси, тем тоньше водные (сольватные) "оболочки" окружающие зерна твердой фазы и тем более рыхлой, разобщенной является первоначальная структура бетона к началу вибровоздействия. Между сольватированными частицами отсутствует взаимодействие, так как при недостатке жидкой фазы для полной компенсации потенциала поверхности частиц (зерен) твердой фазы проявляется эффект "упругого контакта" и взаимного отталкивания в зонах соприкосновения сольватных оболочек (рис. 95, а) - они не образуют слитной структуры. Для "объединения" (слития) зон контактов обводненных частиц цемента их необходимо привести в соприкосновение, приложив внешнее усилие с одновременным действием вибрации. Для нижних слоев бетона функцию внешнего давления выполняют вышележащие его слои; для надлежашего уплотнения верхнего слоя эту функцию выполняет давление пригрузки.

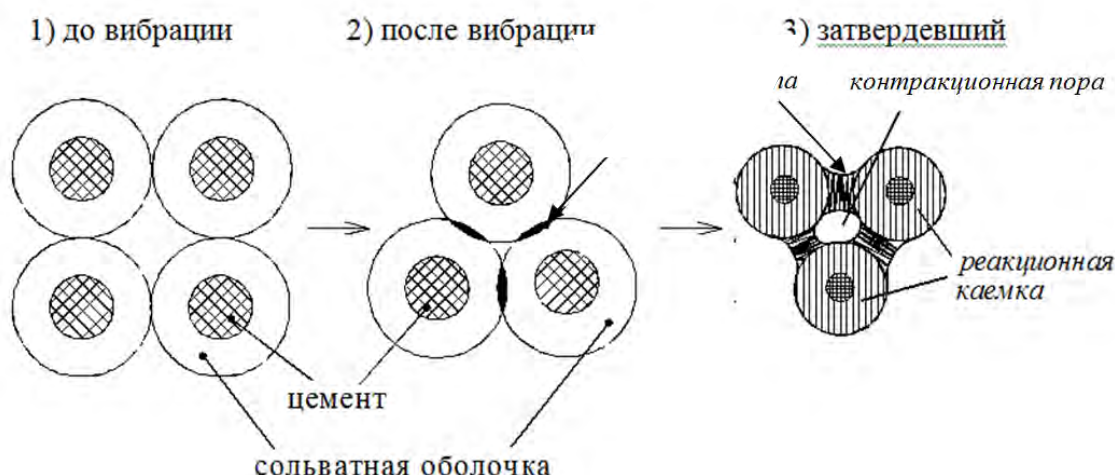


Рис. 95. Принципиальная схема формирования зон контакта в цементном тесте (камне).

Тиксотропное разжижение цементного теста под совместным действием вибрации и давления пригруза способствует перераспределению жидкости, смещению (более компактному взаиморасположению) зерен твердой фазы и слиянию сольватных оболочек отдельных частиц, формируя будущую зону их контакта в затвердевшем цементном камне (рис. 95 в). Чем тоньше сольватные оболочки и шире зоны (больше площади) их взаимных контактов, формирующихся при формировании бетона (фактически - цементного теста в бетоне), тем более развитыми будут в затвердевшем цементном камне совместные зоны контакта реакционных каемок вокруг соседних "остаточных" частиц цемента. Соответственно меньшими будут сечения контракционных пор цементного камня, выше плотность, непроницаемость, прочность и другие физико-технические свойства и характеристики бетона.

На рисунке 96 приведены принципиальные схемы пригрузов, используемых при формировании изделий с применением жестких бетонных смесей.

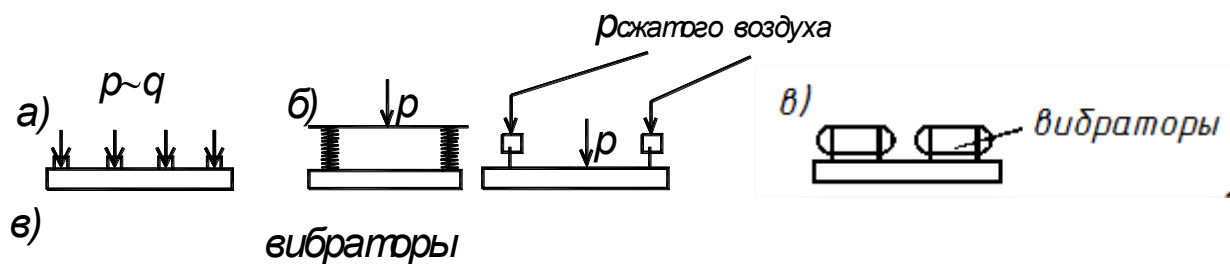


Рис. 96. Принципиальные схемы пригрузов

Величина давления пригруза на формуемый бетон может изменяться в значительных ($P_{пр} \sim 0,005 \dots 0,05 \text{ МПа}$ ($50 \dots 500 \text{ Г/см}^2$) пределах, в зависимости от вида изделия, конструктивных особенностей (например, сплошного сечения; с пустотами) и его типоразмеров, а также от условий формования - типажа и мощности виброплощадки, наличия-отсутствия вибровкладышей, использование съёмной или иной бортоснастки и пр.

Различают инерционные (рис. 96 а) пригрузки (давление на формуемый бетон создают за счёт их массы), безинерционные (рис. 96, б; в); давление создают усилием пружин или с помощью сжатого воздуха) и вибропригрузки, на которых жестко закреплены вибраторы, что обеспечивает наиболее эффективное воздействие на формуемый бетон, позволяет использовать более жёсткие (и с меньшим содержанием цемента) бетонные смеси.

7.4 Прессование и вибропрессование.

Рациональной областью применения прессования и вибропрессования является изготовление мелкоштучных изделий - тротуарных, облицовочных, декоративных и иных плит, стеновых и бортовых камней и других подобных изделий.

Прессование - безвибрационный способ формования бетона давлением, реализуется в вариантах фильтрационного и безфильтрационного прессования. Фильтрационное прессование осуществляется с отжатием части воды затворения из пластичной бетонной смеси по схемам рисунка 97.

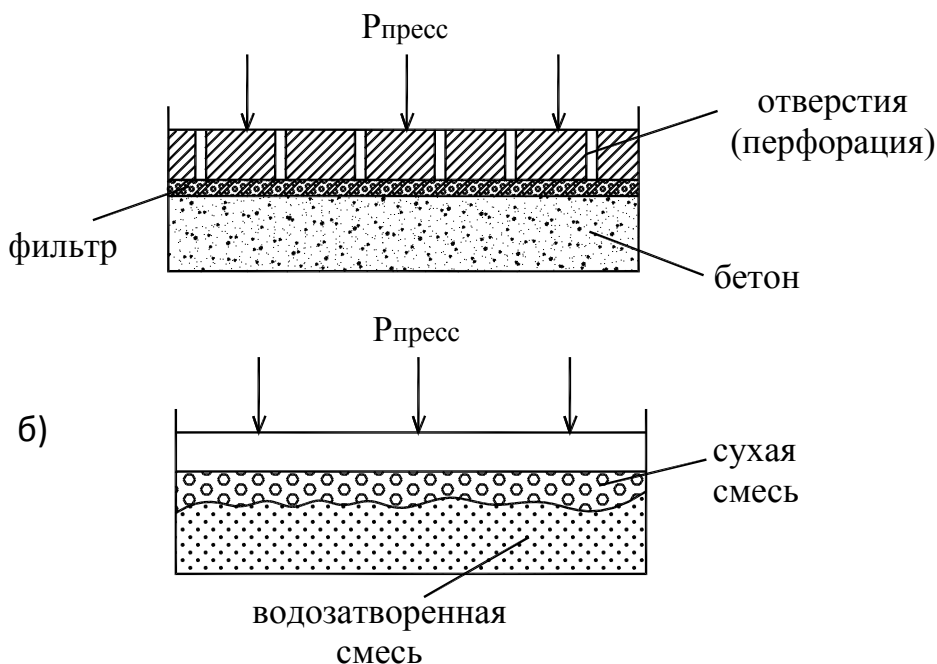


Рис. 97. Принципиальные схемы "фильтрационного" прессования

По схеме рис. 97 а) в форму (формообразующую матрицу) в расчётном количестве укладывают пластичную бетонную (преимущественно – мелкозернистую) смесь, на поверхность которой воздействует прессующим усилием ($P_{\text{прес}} \geq 5,0$ МПа). Давление прессования воспринимает жидкая фаза, часть которой через фильтр и перфорацию пригруза удаляется из смеси и прессующего устройства. Отжатие воды имеет место до соприкосновения сольватных оболочек зерен твердой фазы; после чего активная фильтрация жидкости прекращается, т.к. в сольватных оболочках жидкость находится под действием сил притяжения потенциалом поверхности твердой фазы. Для ее удаление даже из внешней части диффузного слоя требуется значительное давление.

По схеме рис. 97 б) часть воды затворения из пластичной (преимущественно - цементно-песчаной) бетонной смеси по ранее описанной схеме отжимается в объём сухой бетонной смеси, увлажняя ее. Количество воды затворения пластичной смеси, объём и количество сухой бетонной смеси, содержание в ней цемента подбирают из расчёта, чтобы после фильтрационной пропитки верхнего слоя отжимаемым ее количеством водоцементное отношение отформованного бетона было на уровне 0,26...0,3, доли ед. Прочность свежееотформованного таким образом бетона в изделии составляет $\geq 0,3...0,5$ МПа, что достаточно для немедленной полной (или частичной) распалубки и укладки (установки) на поддон-накопитель изделий (тротуарных, облицовочных и иных плит толщиной 30...50 мм, размерами до 350...500 мм).

Безфильтрационное прессование осуществляют без отжатия воды путем приложение прессующего давления к уложенной в форму жесткой бетонной смеси. Сущность процесса уплотнения заключается в том, что под давлением пресса $\geq 5,0$ МПа сближаются и сливаются в единое целое в зонах взаимных контактов внешние кромки сольватных оболочек зерен твердой фазы. При этом в некоторой мере происходит перегруппировка (смещение) зерен заполнителей, для чего необходима значительная раздвижка их прослойками цементного теста, т.е. необходим большой расход цемента. Лучшие результаты по плотности и прочности бетона при прессовании обеспечивает применение смесей, в которых относительное водосодержание цементного теста характеризуется величиной: $x \sim 0,876$ Кнг, доли ед. По физической сущности в этом случае в цементном тесте воды достаточно для создания сольватных оболочек, окружающих зерна (флоккулы) цемента, а поры между ними заполнены воздухом. Такая система обеспечивает взаимное смятие и слияние сольватных оболочек под давлением прессования с частичным удалением сжатого в порах воздуха. Если поры заполненный водой (т.е. $x \geq$ Кнг), то последняя воспринимает давление прессования и смятие сольватных оболочек имеет место только частично и эффективность прессования снижается.

Следует учитывать, что прессующие давление в объеме формуемого бетона (особенно с крупным заполнителем) изменяется по тенденции рисунка 98.

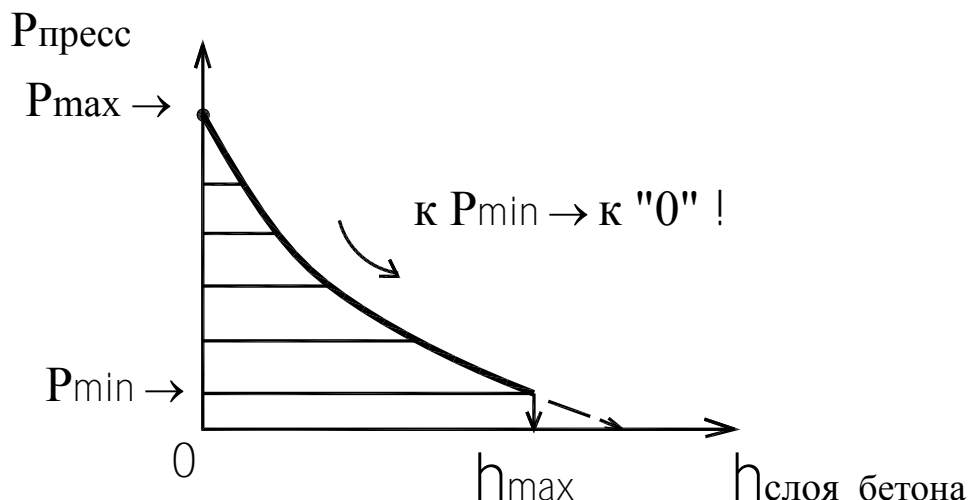


Рис. 98. Тенденция распределения прессующего давления в объеме бетона.

Наибольшее прессующее давление имеет место в зоне его приложения, при общей тенденции к снижению по высоте уплотняемого слоя бетона. В этой связи эффективен вариант прессования, при котором слой формуемого бетона утоньшается в процессе уплотнения. Такой вариант формования реализуется при изготовлении, например, плит для сборных стен сенажных башен. В этом случае прессующее усилие создают за счёт нескольких клиновидных элементов, вдавливаемых в жёсткую бетонную смесь, предварительно отдозированную в форму-матрицу, придающую внешний контур изделию. В процессе продвижения в объём смеси клиновидные элементы образуют соответствующие пустоты внутри изделия, наращивая усилие прессования по мере продвижения. Одновременно по мере их движения уменьшается сечение уплотняемых слоев бетона, сжатого между поверхностью клиньев и формой-матрицей.

Накопленный опыт изготовления изделий способом прессования бетона давлением показал, что более выгоден вариант сочетания усилия прессования с вибрированием.

Вибропрессование – способ формования, в котором сочетаются вибровоздействие на бетон и прессующее усилие и который наиболее широко применяется при изготовлении мелкоштучных изделий - разнообразных плит, стеновых и бортовых камней и т.п. Вибрирование способствует компактному взаиморасположению зерен твердой фазы (в первую очередь - заполнителя(ей)) и проявлению эффекта тиксотропии, а давление прессования - сбли-

жению сольватированных частиц твердой фазы. В результате их совокупного действия в уплотняемом бетоне формируется слитная структура цементного теста, являющаяся основой высоких физико-технических свойств (прочности, плотности и непроницаемости, морозо- и коррозионной стойкости и др.) бетона.

Процесс вибропрессования включает все три стадии: формование, т.е. равномерное распределение составляющих полидисперсной жесткой бетонной смеси под влиянием вибрирования до начала давления пригруза; уплотнение бетона при совместном (одновременном) действии вибрации и давления прессования (пригруза) и компрессионную стадию, имеющую место при снятии давления пригруза и выпрессовке изделия(ий) из ячейки (ячеек) формы-матрицы на поддон.

С учетом того, что используются бетонные (преимущественно цементно-песчаные и с крупным заполнителем ($d_{зеп} \leq 10$ мм)), рационально вибрирование с повышенной частотой $f \geq 100$ Гц и интенсивностью: $I \geq 900$, $\text{см}^2/\text{с}^3$. Это способствует объемному проявлению эффекта тиксотропии уплотняемого бетона, что при совместном с давлением действии обеспечивает формирование однородной и плотной структуры по всему сечению (объему) бетона формируемых изделий.

Время вибрационного воздействия связано с техническими характеристиками формирующего устройства (f , Гц; A , мм; давлением прессования ($\geq 0,2$ МПа)), а также с консистенцией (жесткостью) бетонной смеси. Это сочетание подбирается таким образом, чтобы в результате формования обеспечивалось требуемое качество бетона. В частности, плотность (водопоглощение, водонепроницаемость), прочность (на сжатие, в ряде случаев - и при изгибе), морозостойкость (для дорожного бетона - в солевой среде), истираемость (для изделий благоустройства) и др. требования проектной или нормативной документации. Первичным, оперативно контролируемым параметром является средняя плотность свежесформованного бетона. Ее требуемый уровень предварительно устанавливается для конкретных видов изделий по условию обеспечения всех предъявляемых к затвердевшему бетону требований и контролируется на стадии формования изделий. При этом исходят из того, что для бетона одного состава равенство средней плотности отражает однородность его структурного строения и постоянство физико-технических свойств, если в остальном соблюдается правило «прочих равных условий».

При снятии давления пригруза и выпрессовке свежесформованных изделий может иметь место упругое последствие воздуха, сжатого в процессе вибропрессования бетона, т.е. - стадия компрессии. При превышении некоего критического объема заземленного воздуха компрессия может сопровождаться появлением трещин (явных и не определяемых визуально). Этот отрицательный эффект может быть связан как с повышенным воздухововлечени-

ем в бетон (в т.ч. за счёт применяемых химических добавок, обладающих эффектом воздухововлечения), так и нерациональным режимом формования. В частности, ранним приложением давления прессования к формируемой смеси. В последнем случае вызываемый вибрацией эффект тиксотропии и раннее образование слитной структуры цементного теста будет ограничивать (удаление) воздуха из объема бетона. Еще одной проблемой вибропрессования бетона является налипание и отрыв цементного теста (раствора) поверхностью пригрузов при их подъеме, особенно при формовании изделий в виде плит. Причина заключается в адгезии тиксотропноразжиженного цементного теста, которая проявляется в наибольшей мере по поверхности контакта пригруза и формируемого бетона. Лучшие результаты дает подогрев поверхности пригрузов (≥ 80 °С), т.к. тепловое поле "отталкивает" воду контактного слоя, практически исключая адгезию цементного теста к горячей поверхности. В этом случае можно работать со смесями оптимального водоцементного отношения:

$$(В/Ц)_{opt} \sim (0,9 \dots 1) K_{нг} + V_{ад.з.}/Ц; \text{ доли ед.}, \quad (9)$$

где $K_{нг}$ – коэффициент нормальной густоты (доли ед.); $V_{ад.з.}$ – количество воды адсорбционно связываемой заполнителем(ями), кг; $Ц$ – расход цемента, кг.

Эффективным является использование (введение в состав бетона) ряда антиадгезионных добавок. Молекулы поверхностно-активных веществ, содержащихся в их составе, концентрируются с водой затворения у поверхности пригрузов, снижая силы адгезии к ней цементного теста (бетона).

Безопалубочное формование - способ формования бетонных и железобетонных изделий в виде непрерывного «пласта» с частичной немедленной распалубкой на неподвижный поддон с помощью перемещающегося формирующего устройства. Оно образует с поддоном формирующую пару, придающую изделию требуемую конфигурацию и размеры поперечного сечения. По заданной длине изделия нарезают после твердения бетона.

Это способ формования получил развитие при изготовлении плит перекрытий, плит внутренних стен и перегородок и других подобных изделий. В Беларуси наиболее широко представлены стендовые линии безопалубочного формования преднапряженных плит перекрытий пустотного настила. Общее для этих технологических линий - это наличие стационарных металлических поддонов с системой разводки теплоносителя (горячее масло, пар, вода) для тепловой обработки отформованного "пласта" изделий (рис. 84). Кроме этого, общие подходы к армированию и преднапряжению арматуры, организации тепловой обработки и нарезки изделий.

Отличительные особенности в основном связаны с устройством и работой бетонизирующих агрегатов и сортаментом используемой арматуры. В качестве рабочей напрягаемой арматуры (армирование нижнего пояса) используют канаты и проволоку; для предотвращения произвольного трещинообразования "пласта" изделий при передаче преднапряжения рабочей арматуры на бетон верхний пояс армируют напрягаемой проволочной арматурой.

Организационно-технологическая схема производства работ по существу одинакова: после съема изделий предыдущего цикла формования поддон чистят и смазывают (спецмашинами, оснащенными валами-щетками и системой подачи смазки распылением, или ручным инструментом); раскладывают (протягивая спецмашинами или сматывая с перемещаемых ими бухт) арматуру (нижнего, а затем верхнего пояса) и напрягают ее гидродомкратами до расчетного уровня; съемными бункерами с помощью крана падают бетонную смесь (в начале и по мере необходимости в процессе формования) к формирующему устройству, укладывают и уплотняют бетон по длине всего стенда; укрывают поверхность "пласта" гидро-, теплоизолирующим покрывалом (смаывая его с барабана спецмашины); прогревают бетон по расчетному режиму до набора необходимой передаточной прочности; свертывают покрывало с поверхности "пласта"; передают натяжение арматуры (верхнего и нижнего пояса) на бетон; размечают места (длины) разрезки пласта и нарезают (спецмашина с дисковой пилой) изделия по требуемой длине (начало и окончание "пласта" с некачественно отформованными участками и концами арматуры утилизируют); снимают (краном со специальной траверсой с боковым захватами) изделия и отгружают на склад готовой продукции; стенды готовят к новому циклу формования.

Учитывая, что в пролетах производственных корпусов заводов размещают 4...6 стендовых линий, перемещение оборудования для их обслуживания осуществляют краном.

Бетонирующие агрегаты (устройства), действующие на настоящий момент времени на белорусских предприятиях, могут быть классифицированы по особенностям укладки бетона. В частности, трехбункерные (последовательно формуется три слоя бетона; рис. 99) фирмы "Макс-рот"; двухбункерные (последовательное формование двух слоев) фирмы "Вейлер" и однобункерные, с однослойным формованием бетона фирмы "Тэнсиланд".

Во всех вариантах использования указанных разновидностей и бетонизирующих агрегатов бетон формуется вибрированием. В агрегатах "вейлеровского" типа первый слой, кроме вибрирования, в зоне образования пустот дополнительно уплотняется трамбованием.

Отличается консистенция формируемой бетонной смеси: для двух-, трехслойной укладки используют смеси марки Ж2, Ж3; при однослойной укладке они характеризуются подвижностью: ОК 0,5...1,0 см (жесткость 3...5 с).

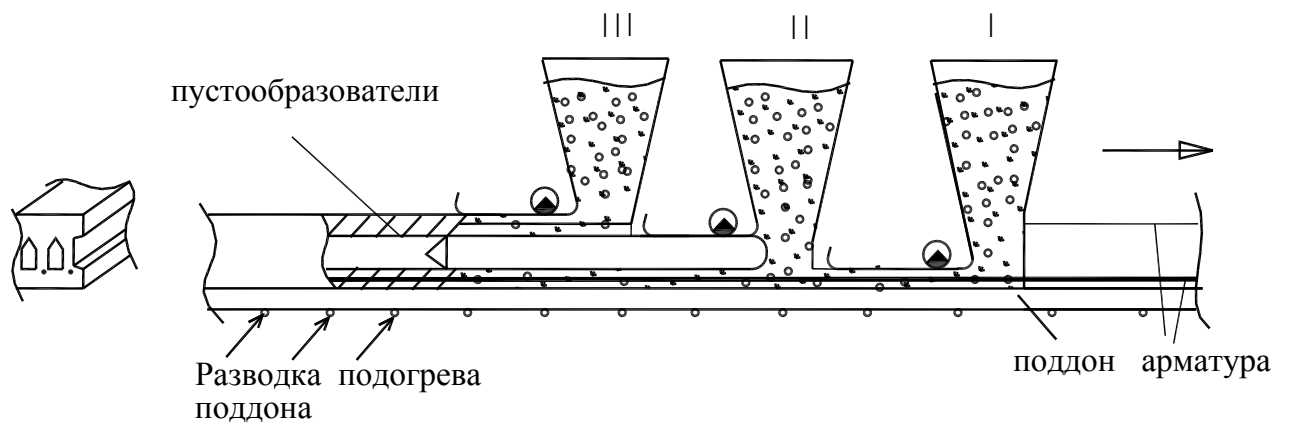


Рис. 99 Принципиальная схема безопалубочного формования изделий с 3-слойной укладкой бетона.

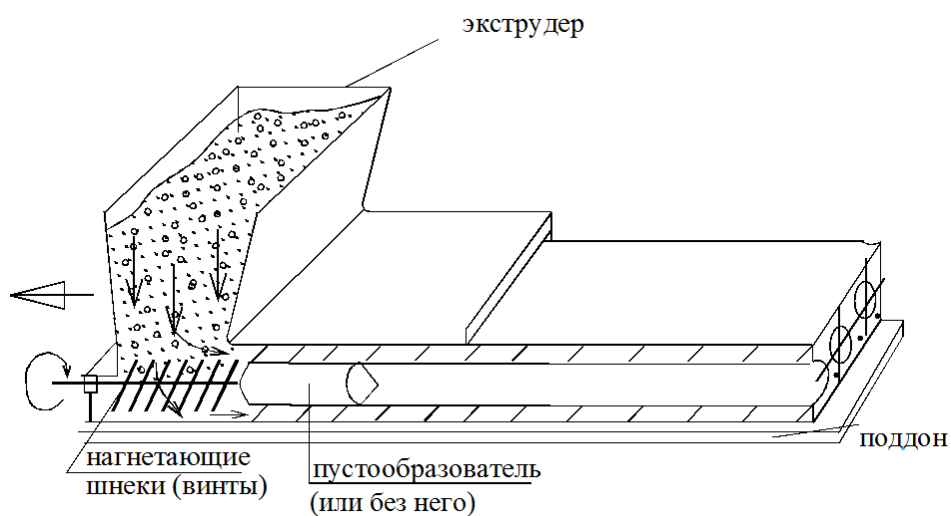


Рис. 100. Принципиальная схема бетонирования с использованием экструдера.

На рисунке 100 показан вариант технологии безопалубочного формования с использованием формующего агрегата - экструдера. В этом случае практически реализуется нагнетательный метод подачи бетонной смеси, сов-

мещающий прессующее усилие и динамическое воздействие на бетон от вращающихся нагнетающих шнеков (винтов).

Формуемому бетону (оптимальная консистенция бетонной смеси соответствует ОК ~ 0,5...1,0 см (жесткость 3...5 с; большей жесткости при наличии нагнетающих шнеков с высокочастотным вибровоздействием)) в полости, образуемой поддоном и профилирующей насадкой экструдера, придается конфигурация и размеры поперечного сечения изделия; по требуемой длине их нарезают после твердения бетона. В целом организационно технологическая схема изготовления изделий соответствует ранее рассмотренной.

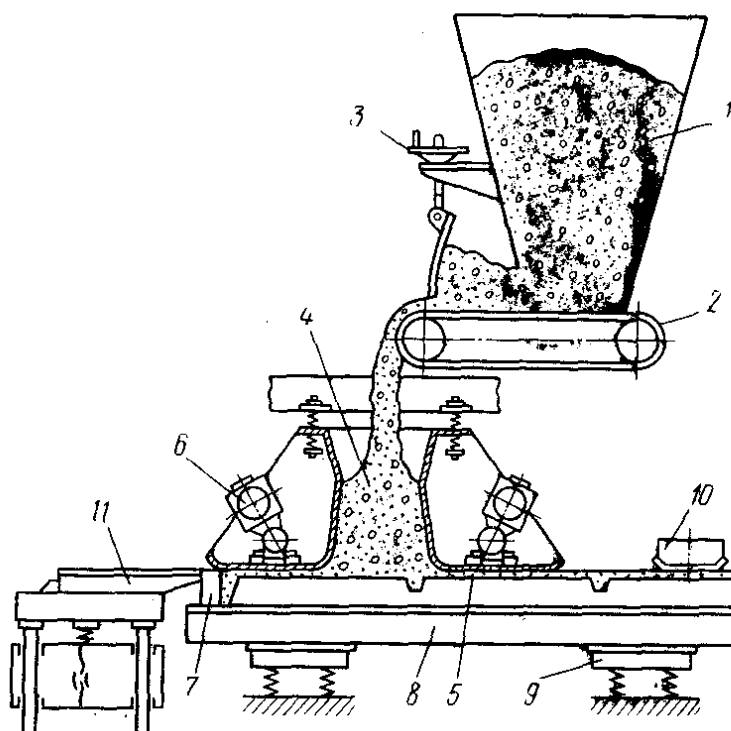


Рис. 101. Схема формирования бетоноукладчиком с вибронасадкой:

1 — бункер; 2 — ленточный питатель; 3 — винтовой привод затвора объемного дозирования бетонной смеси; 4 — копильник вибронасадки; 5 — скользящая плоскость вибронасадки; 6 — вибраторы; 7 — бортовая оснастка; 8 — поддон; 9 — виброплощадка; 10 — заглаживающая рейка; 11 — подъемный столик, перекрывающий копильник

Совмещенные способы формирования предполагают совместное использование разных приемов уплотнения бетона. Например (рис. 101), при изготовлении ребристых плит перекрытий или покрытий зданий различного назначения, особенно - большепролетных (длиной 12 м). В начале укладывают и уплотняют с использованием виброплощадки бетон в ребрах изделия, а затем - полки, с помощью вибронасадки бетоноукладчика, т.е. при вибрировании с поверхности. Это рационально с учетом значительной высоты боковых (в ряде вариантов - и торцевых) ребер преднапрягаемых плит ($\leq 0,5$ м) при отно-

нительно малой (для плит покрытий ≤ 80 мм) толщине слоя формуемого в полке бетона, а также с учетом значительной площади изделия в плане (в частности, для плит, размерами 3х6 м и 3х12 м).

По существу совмещенным является ранее рассмотренный вариант формирования плит пустотного настила на агрегатно-поточных или конвейерных линиях. На их формовочных постах реализуются варианты уплотнения бетона с помощью виброплощадок (т.е. объемное вибровоздействие) в сочетании с вибропригрузами (т.е. вибрирование с поверхности) при неактивных пустотообразователях (пуансонах), а также с использованием глубинного вибрирования при активных пустотообразователях - вибровкладышах. При этом пригрузки могут быть пассивными (инерционными или безинерционными), либо оснащаться вибраторами (т.е. вибропригрузки).

Прокат, вальцевание и вибропрокат - способы формирования бетона путем приложения прессующего усилия к его поверхности от цилиндрической поверхности вращающихся (перемещающихся) валов (вальцов, роликов). При вибропрокате усилие прессования совмещается с вибровоздействием на поверхность формуемого бетона (рис. 102 б). Усилия прессования оценивают как линейное, то есть приходящееся на 1 м (погонный) длины катка (Н/п.м.).

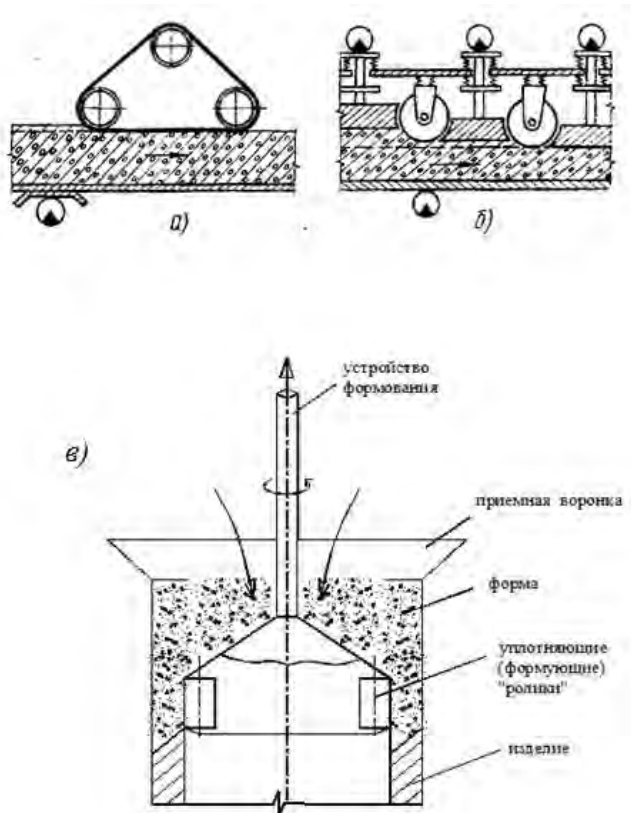


Рис. 102. Принципиальные схемы: а); б) проката (вибропроката); в) вертикального вальцевания.

Во всех случаях используют жесткие бетонные смеси марок Ж1, Ж2 и выше. При вертикальном формовании (рис. 102 в) изделий кольцевого сечения (труб (бетонных и железобетонных) безнапорных (длиной (высотой) до 3 м); разнообразных колец) используют в основном цементно-песчаные смеси; при толщине стен изделий ≥ 60 мм допускается использование крупного заполнителя с размером зерен до 8...10 мм.

Высокомеханизированная технологическая линия - вибро прокатный стан конструкции Н.Я. Козлова, представлена в виде принципиальной схемы на рисунке 103 (не применяется на белорусских предприятиях).

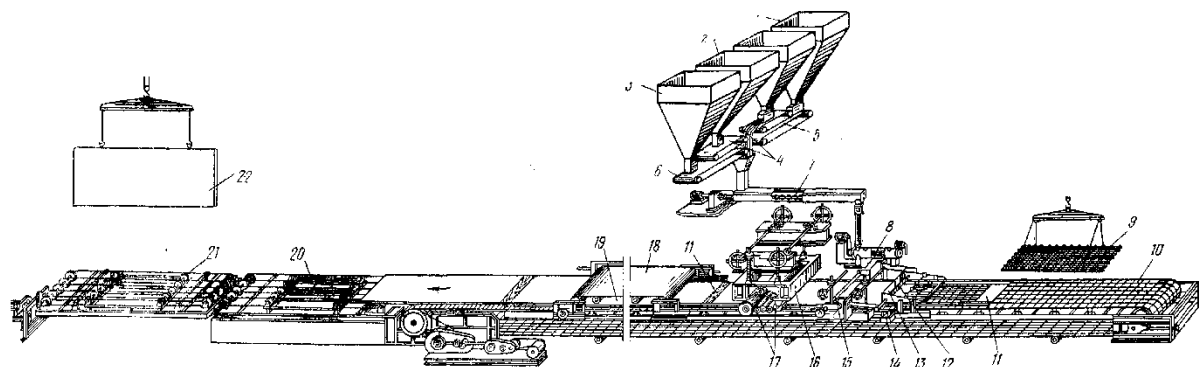


Рис. 103. Вибропрокатный стан Н. Я. Козлова:

1 — бункер для песка; 2 — бункер для цемента; 3 — бункер для щебня; 4 — ленточные питатели-дозаторы для цемента; 5 — ленточный питатель-дозатор для песка; 6 — ленточный питатель-дозатор для щебня; 7 — шнек-смеситель; 8 — бетоносмеситель; 9 — арматурный каркас плиты; 10 — стальная формующая лента; 11 — разделительный щит; 12 — шнековый бетоноукладчик; 13 — виброщиток; 14 — вибробалка; 15 — фреза; 16 — калибрующий агрегат; 17 — калибрующие валки; 18 — накрывная прорезиненная лента термической секции стана; 19 — термическая секция стана; 20 — обгонный рольганг; 21 — опрокидыватель; 22 — готовая железобетонная плита.

Технология изготовления изделий на вибропрокатных станах конструкции инженера Н. Я. Козлова является разновидностью конвейерной технологии и позволяет осуществлять непрерывный, полностью механизированный процесс производства железобетонных изделий.

Основная особенность данной технологии состоит в том, что весь процесс изготовления изделий, начиная от приготовления бетонной смеси и кончая выдачей готовых изделий, осуществляется на одном агрегате — вибропрокатном стане.

Вибропрокатный стан представляет собой движущийся конвейер, состоящий из бесконечной формующей ленты, натяжной и приводной станций, формующей и калибрующей секций, секции тепловой обработки, а также оснащен бетоноприготовительной установкой.

Основной частью стана является металлическая формующая лента шириной 3,6 м, состоящая из отдельных поперечных звеньев. Последние собраны

на бесконечных тяговых цепях и плотно прилегают друг к другу; при этом каждое звено шарнирно крепится к тяговым цепям при помощи роликовых опор. Рельеф поверхности формующей ленты зависит от вида изделий, изготавливаемых на вибропрокатном стане. Для формования ребристых изделий ленту набирают из звеньев с кессонообразователями, а для изготовления плоских панелей — из плоских звеньев (листов).

Необходимое натяжение формующей ленты обеспечивается натяжной станцией, расположенной в головной части стана. Движение ленте сообщается главным приводом стана через приводную станцию, находящуюся в хвостовой его части.

В зависимости от заданной номенклатуры изделий на звенья формующей ленты устанавливается технологическая оснастка, определяющая ширину и длину изделий, образующая и фиксирующая положение закладных деталей.

Бетоноприготовительная установка с дозирочным отделением расположена над вибропрокатным станом на участке формующей секции. Она оборудована расходными бункерами для цемента, песка и щебня, а также ленточными питателями-дозаторами и смесителем непрерывного действия. Каждый расходный бункер имеет поверхностный вибратор, обеспечивающий равномерное истечение материала из бункера. Сухие компоненты дозируются из расходных бункеров с помощью ленточных питателей-дозаторов.

Объемная дозировка компонентов бетонной смеси осуществляется ленточными питателями-дозаторами, обеспечивающими непрерывный поток материалов в шнек-смеситель. Последний тщательно перемешивает сухую смесь компонентов и направляет ее в бетоносмеситель непрерывного действия, туда же подается вода. Бетоносмеситель снабжен быстроходным лопастным валом.

Формующая секция состоит из бетоноукладчика, вибробалки и фрезы. Бетоноукладчик расположен над формующей лентой перпендикулярно ее продольной оси и предназначен для равномерного распределения бетонной смеси по ширине формующей ленты, в пределах бортовой оснастки. Эта операция осуществляется рабочим органом бетоноукладчика, совершающим возвратно-поступательное перемещение поперек ленты. Установленный за бетоноукладчиком виброщиток служит для создания над лентой слоя бетонной смеси требуемой толщины с учетом последующего его уплотнения.

Под лентой расположена вибробалка, которая выполнена в виде жесткого сварного короба, снабженного вибровалом с электродвигателем. Чистота колебаний вибробалки составляет 3500...4500 кол/мин, а амплитуда колебаний около 0,5 мм.

Формующая лента, проходя по верхней плоскости вибробалки, воспринимает колебания и передает их бетонной смеси, обеспечивая этим ее уплотнение. За бетоноукладчиком расположен механизм шнековой фрезы, кото-

рый состоит из сварной рамы, подвешенной к стойкам стана с помощью шарниров, и рабочего органа — фрезы, выполненной из трубы с наваренными на нее винтовыми плоскостями. Вращение фрезы осуществляется от электродвигателя через редуктор и цепную передачу.

Фреза предназначена для разравнивания поверхности изделия и срезания излишка бетонной смеси. В зависимости от требуемой толщины формируемого изделия, фрезу устанавливают на заданную высоту винтовым механизмом с ручным приводом через червячную передачу.

Калибрующая секция стана состоит из приводного и калибрующего барабанов, а также калибрующих валков, смонтированных на подвесной раме, передвигаемой в вертикальной плоскости с помощью винтовых подъемников и фиксируемой соответственно толщине прокатываемого изделия. Между приводным и калибрующим барабанами натянута калибрующая прорезиненная лента, которая предназначена для передачи давления, развиваемого калибрующим барабаном и валками, на поверхность прокатываемого изделия и для выравнивания его лицевой поверхности.

Секция тепловой обработки представляет собой щелевую камеру длиной 60 м, в которой свежесформованные изделия подвергаются контактному прогреву за счет подачи пара с температурой 105—110° под формирующую ленту; для отвода конденсатора предусмотрен специальный конденсатопровод.

Изделия в данной секции стана плотно закрыты со всех сторон: снизу — формирующей лентой, сверху — паронепроницаемой теплостойкой накрывочной лентой, а с боков — бортовой оснасткой.

Накрывочная прорезиненная или металлическая лента движется вместе с изделиями за счет сил трения, возникающих между ней и поверхностью изделия. В этой же секции на участке 12—15 м поверхность бетона изделия подвергается дополнительному обжатию специальным механизмом — термопригрузом. Грузовые металлические валки термопригруза через накрывочную ленту создают давление в пределах 40—50 Г/см², что предохраняет поверхность изделий от вспучивания.

После тепловой обработки изделия автоматически последовательно освобождаются от формирующей ленты, звенья которой при распалубке переходят на звездочки приводного барабана и меняют свое движение с горизонтального на наклонное. При этом звенья одно за другим отрываются от нижней поверхности изделия.

Распалубленное изделие движется горизонтально по поддерживающим кронштейнам и поступает на обгонный рольганг. Последний состоит из рамок и цепного транспортера с натяжной станцией и индивидуальным приводом.

Скорость движения транспортера рольганга значительно превышает скорость движения формующей ленты, что обеспечивает быстрое перемещение готового изделия от формующей ленты на опрокидыватель.

Опрокидыватель представляет собой пространственную металлическую форму с уложенными на ней направляющими для цепей транспортера и опорами для натяжения его устройств и привода. Скорость движения транспортера такая же, что и у обгонного рольганга. Опрокидыватель предназначен для поворота готового изделия на 80° , для облегчения его транспортирования в вертикальном положении мостовым краном на склад готовой продукции или на участок комплектации строительных конструкций.

Управление механизмами вибропрокатной установки осуществляется с пульта управления.

Изготовление изделий на вибропрокатных станах. Конструктивные особенности вибропрокатных станов, предусматривающих изготовление крупномерных изделий как из тяжелого бетона, так и из керамзитобетона на непрерывно движущейся ленте с применением кратковременных режимов тепловой обработки, определяют специфику подбора состава бетонной смеси. В качестве вяжущих веществ применяют портландцемент марок 400, 500 и 600 с содержанием трехкальциевого силиката не менее 52—55%; при этом нормальная плотность цементного теста должна быть ограничена 26%. Расход портландцемента марки 500 на 1 м^3 тяжелого бетона составляет 400—450 кг.

Для изготовления ребристых и плоских панелей в качестве заполнителя используют крупнозернистые чистые пески и щебень или гравий фракций 3—5 и 5—10 мм. Соотношение песка и крупного заполнителя, а также максимальный его размер подбираются лабораторией завода. Кроме того, лаборатория подбирает такую удобоукладываемость бетонной смеси, которая должна обеспечивать качественное уплотнение ее при формовании изделий. Обычно жесткость смеси соответствует ~ 30 —40 сек, с учетом форсированной тепловой обработки бетона (~ 3 часа для тяжелого бетона).

Для изготовления керамзитобетонных изделий применяют бетонные смеси, приготовленные на керамзитовом гравии фракций 5—10 и 10—20 мм и керамзитовом песке. При этом расход воды назначают с учетом водопоглощения составляющих, чтобы получать бетонную смесь необходимой формоустойчивости (удобоукладываемости).

Процесс изготовления железобетонных изделий на вибропрокатных станах состоит из следующих основных операций: смазки формующей ленты, укладки арматурных каркасов, приготовления бетонной смеси, ее укладки и уплотнения, тепловой обработки и съема изделий со стана.

Смазка формующей ленты осуществляется нагретым до 70 — 90° петролатумом, который наносят слоем 0,2—0,3 мм; последний образует на поверх-

ности ленты устойчивую защитную пленку, обеспечивающую легкую распа- лубку изделий при выходе их со стана.

Процесс смазки полностью механизирован и осуществляется с помощью двух форсунок, смонтированных на концах трубчатых распылителей, совер- шающих качательные движения вокруг вертикальной оси. При необходимости перед смазкой ленты ее очищают с помощью механических стальных щеток.

Арматурные каркасы укладывают с помощью кран-балки на движущуюся формующую ленту стана. Каждый каркас на ленте отделяется от другого разделительным брусом, а с боков ограничивается металлической бортовой оснасткой, закрепленной на звеньях ленты. Таким образом, с помощью бор- тоснастки и разделительных брусьев определяются размеры изготавливаемых изделий. Для образования в них проемов на ленту накладывают специальные металлические короба, верхняя плоскость которых располагается на уровне лицевой поверхности панели.

Укладка и уплотнение бетонной смеси на формующей ленте стана произ- водятся следующим образом. Бетонная смесь с помощью бетоноукладчика равномерно распределяется по ширине формующей ленты, в пределах борто- вой оснастки. Толщина укладываемого слоя смеси на ленте регулируется специальным виброщитком, установленным на заданную толщину слоя.

Одновременно с укладкой и разравниванием смесь уплотняется вибробалкой, расположенной под формующей лентой. Продолжительность вибрирования смеси зависит от скорости движения ленты и ширины вибробалки. При ее ширине порядка 30—40 см и скорости движения ленты 20—30 м/ч продолжительность вибрирования смеси составляет 45—75 сек. При формировании панелей из керамзитобетона скорость формующей ленты около 15 м/ч.

Расположенная за бетоноукладчиком шнековая фреза дополнительно вы- равнивает поверхность изделия, срезает излишки смеси, оставляя необходи- мый припуск по его толщине для последующего уплотнения валками ка- либрующей секции.

Окончательное уплотнение смеси и калибровка изделий до проектной толщины производятся калибрующим механизмом, установленным на задан- ной высоте по отношению к формующей ленте. После калибровки поверх- ность изделий дополнительно обрабатывают специальным заглаживающим механизмом.

Тепловая обработка изделий ведется контактным обогревом бетона снизу от формующей ленты. Прогрев изделий начинается сразу после калибровки и поступления их в секцию тепловой обработки стана и продолжается 2—3 ч для тяжелых бетонов и 4—5 ч для легких бетонов на пористых заполните- лях.

По окончании тепловой обработки изделия поступают на открытый участок формующей ленты, предназначенный для предварительного охлаждения их перед распалубкой.

Если производственная площадь завода позволяет организовать на ней промежуточный склад, то изделия выдерживают на таком складе 2—3 суток при температуре не ниже 15°; при этом прочность бетона изделий обычно достигает 70—80% от проектной.

7.5 Безвибрационные способы формования.

Центрифугирование - безвибрационный способ формования бетона с распределением и уплотнением бетонной смеси внутри вращающейся формы за счёт прессующего давления ($P \sim 0,2...0,5$ МПа), возникающего под действием центробежных сил. В этом способе изготовления бетонных и железобетонных изделий очевидна стадийность процесса уплотнения бетона. На первой стадии пластичная бетонная смесь оптимальной осадки конуса: ОК - 4...6 см на оборотах распределения ($n \sim 100$ об/мин) - формируется (т.е. ей придается форма изготавливаемого изделия), а затем уплотняется (за счёт увеличения числа оборотов ($n \geq 200$ об/мин) в зависимости от радиуса формируемого изделия) и нарастающего прессующего давления. На рисунке 104 приведена схема фрагмента формирующейся при однослойным центрифугировании структуры тяжелого бетона.

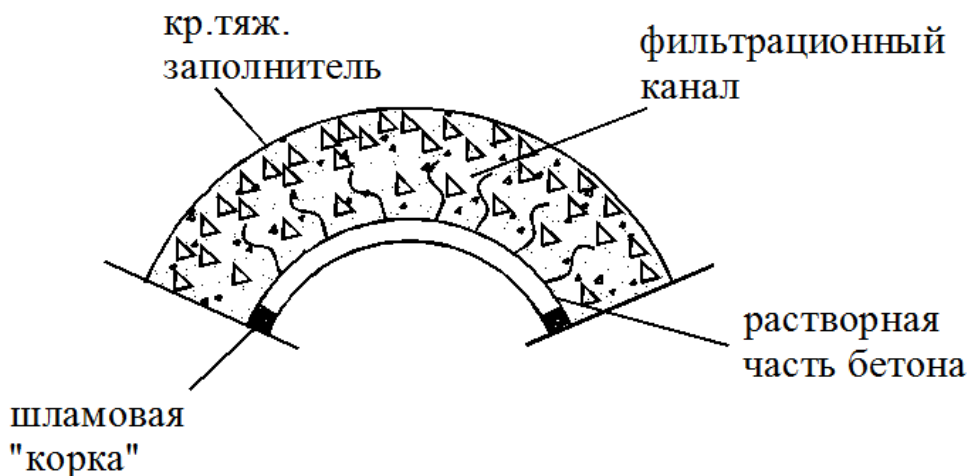


Рис. 104. Схема фрагмента структуры тяжелого бетона при однослойном центрифугировании.

Процесс уплотнения сопровождается перегруппировкой составляющих бетона: более плотные и тяжелые зерна крупного заполнителя отесняются давлением прессования к стенкам формы, а растворная (более легкая) со-

ставляющая в большем количестве сосредоточена во внутренней части сечения. Отжимаемая давлением вода фильтрует к внутренней части сечения, оставляя после себя фильтрационные протоки (каналы), образующие направленную капиллярную пористость в затвердевшем бетоне. В воде "взвешены" и выносятся на внутреннюю поверхность изделия тонкодисперсные частицы твердой фазы: пылевидные фракции от заполнителей, минеральные добавки (если они присутствуют в цементе), мельчайшие частицы цемента (особенно тонкомолотого). Эта взвесь образует шлам, который удаляют (на утилизацию) после центрифугирования. В затвердевшем бетоне на внутренней поверхности изделия образуется шламовая корка, перекрывающие выходы на поверхность фильтрационных каналов.

Для уменьшения образования и выхода шлама необходимо использовать чистые (мытые)заполнители, уменьшать начальное водосодержание бетона (в пределах обеспечения нормальных условий для распределения смеси), использовать цементы без минеральных добавок. Было бы целесообразно для центрифугированного бетона производить и использовать грубомолотые цементы ($S_{уд} < 0,3 \text{ м}^2/\text{г}$ ($< 3000 \text{ см}^2/\text{г}$)), т.к. прочность его весьма высока: $f_{cm,28} \geq 50 \text{ МПа}$ (водоцементное отношение центрифугированного тяжелого бетона $(В/Ц)_б < 0,4$ доли ед., при средней плотности: $\rho_b \sim 2500 \text{ кг/м}^3$).

Однако несмотря на высокую среднюю плотность однослойно центрифугированный бетон (из-за наличия сети фильтрационных каналов) характеризуется низкой напорностью ($\leq 0,3 \text{ МПа}$) и обеспечивает изготовление только безнапорных труб. Для повышения непроницаемости бетона возможно использование многослойного центрифугирования с перекрытием фильтрационных каналов, а для производства напорных центрифугированных железобетонных труб проф. И.Н. Ахвердовым разработана ранее рассмотренная 3-х стадийная технология их изготовления (см. рис. 27).

Для реализации способа используют ременные центрифуги (для труб длиной до 5 м) и роликовые центрифуги - для изготовления труб с металлическим сердечником длиной до 10 м, а также длинномерных опор ЛЭП (до ~ 30 м) и других изделий.

В зависимости от диаметра и длины изделий технологические линии обустроят ленточными питателями (при диаметре труб $\varnothing \geq 0,5 \text{ м}$ и длине $l \leq 5,0 \text{ м}$), ложковыми (опрокидными) питателями ($\varnothing \leq 0,5 \text{ м}$; $l \leq 10,0 \text{ м}$) и питателями-бетонораздатчиками ($l > 10 \text{ м}$).

Тепловую обработку изделий осуществляют в вертикальном положении (трубы длиной до 5 м) с использованием пропарочных гнезд, а также в горизонтальном положении в камерах разных типов.

Вакуумирование - способ безвибрационного формирования бетона, при котором первая стадия - формование, осуществляется с использованием высокопластичных и литых бетонных смесей (марки П4 и П5), заполняющих

формы под действием силы тяжести, а уплотнение бетона осуществляется с помощью разрежения, создаваемого в его объеме. Под его действием, приложенным к поверхности изделия, удаляется часть воды затворения и воздух, вовлеченный в бетонную смесь на стадии приготовления, а также из межзерновых пространств флоккул цемента и адсорбированный на поверхности его зерен. В результате перераспределения воды и утоньшения сольватных оболочек жидкости на зернах твердой фазы и происходит их сближение. Освобождающиеся от адсорбированного воздуха поверхности вяжущего вступают во взаимодействие с водой, т.е. создаются условия для формирования более плотной коагуляционной структуры цементного теста, а на ее основе - цементного камня и бетона. Как следствие возрастают прочностные и иные физико-технические свойства вакуумированного бетона.

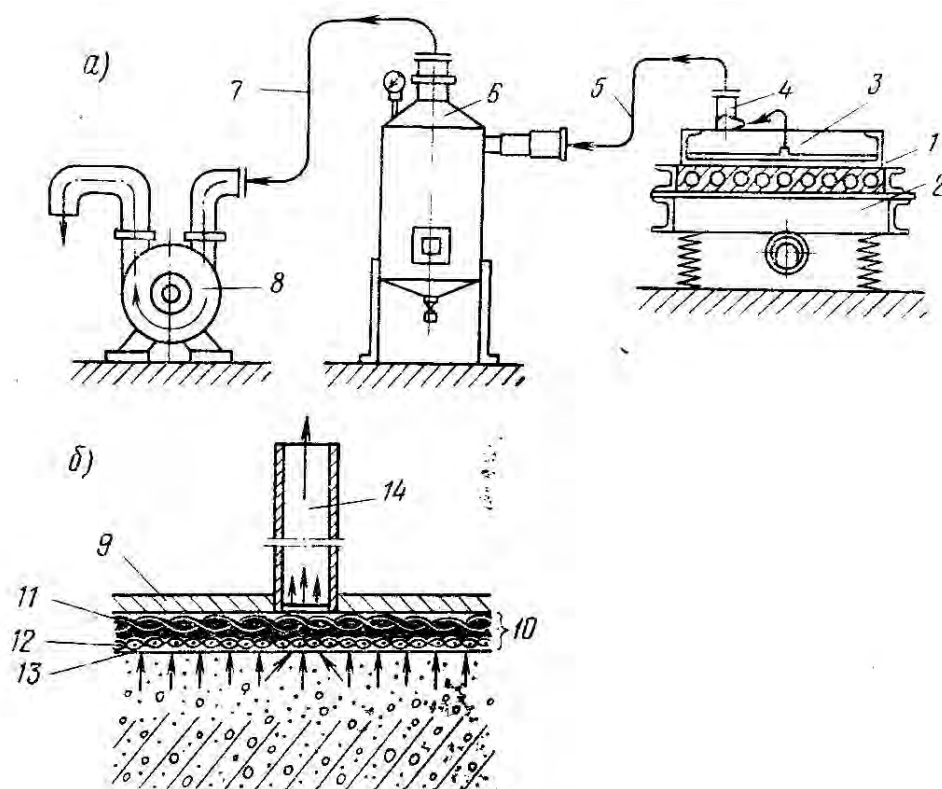


Рис. 105. Схема вибровакuumной установки:

а — общий вид; б — вакуум-щит; в — принципиальное устройство;
 1 — формуемое изделие; 2 — виброплощадка; 3 — вакуум-щит; 4 — сборный коллектор; 5 — всасывающие шланги; 6 — водосборник; 7 — главная всасывающая труба; 8 — вакуум-насос; 9 — верхняя крышка вакуум-камеры; 10 — вакуум-полость; 11 — крупная проволочная сетка; 12 — тонкая сетка; 13 — фильтровальная ткань; 14 — штуцер для присоединения к вакуум-сети

Вместе с тем, несмотря на существенную техническую эффективность, подтвержденную высоким качеством и долговечностью тротуарных плит (размерами до 0,5x0,5x(0,05...0,08) м), изготовленных в опытно-

производственном порядке, способ вакуумирования не нашел широкого применения. В процессе его производственной апробации выявились следующие основные недостатки. В частности, проблема засорения фильтра, т.к. с водой перемещаются тонкодисперсные частицы твердой фазы (по аналогии с образованием шлама при центрифугировании), и необходимости его частой очистки и замены. Кроме этого, уровень (степень) разрежения не высок, составляет: $P_{\text{раз}} \sim (0,09 \dots 0,098)$ МПа, что соответствует остаточному давлению: $P_{\text{вак}} \sim 0,01 \dots 0,002$ МПа.

При этом разрежение, приложенное с помощью вакуум-щита к обрабатываемой поверхности (рис. 105), в первую очередь воздействует на прилегающий слой (наибольшая степень разрежения) и снижается по его высоте. То есть, процесс удаления воды и воздуха из объема бетона зависит (кроме степени создаваемого разрежения) от высоты слоя. Эта зависимость близка к квадратичной, т.е. с ростом высоты слоя в 2 раза, необходимое время вакуумирования возрастает в ~ 4 раза.

Необходимо отметить наличие оптимальной продолжительности вакуумирования не только в связи с темпом развития процесса удаления воды, но и по воздействию на формирующуюся структуру бетона. Превышение оптимального времени вакуумирования может сопровождаться образованием направленной пористости в виде фильтрационных каналов от движения жидкости, если цементное тесто (бетон) обезвоживается до потери пластичности. В этой связи высокую эффективность (по критерию роста плотности, прочности и других свойств) обеспечивает вариант совмещенного формования, включающий вакуумирование бетона с последующим вибрационным воздействием под пригрузом. В этом случае эффективность вакуумирования дополняется вибровоздействием, устраняющим дефекты структуры от направленной фильтрации жидкости.

Литьевая технология – предполагает безвибрационный вариант формирования бетонных и железобетонных изделий за счет использования литых (марки П5) бетонных смесей и характеризующихся расплывом конуса марок не ниже РК5. Высокая пластичность таких бетонных смесей обеспечивает их способность заполнять пространства форм без вибрационного побуждения, а низкое водоцементное отношение (т.к. такие смеси получают за счет использования высококачественных пластифицирующих добавок: супер-, гиперпластификаторов) обеспечивает расчетный уровень прочности бетона.

Следует учитывать, что нет прямой связи между оценкой консистенции бетонной смеси по осадке конуса (ОК) и его расплыву (РК). Оценка по расплыву конуса в большей мере применима для, так называемых, *самоуплотняющихся* бетонов. Их основное отличие заключается в том, что в состав в обязательном порядке вводят дополнительный структурирующий бетонную смесь тонкодисперсный твердофазный компонент. Например, микрокремне-

зем, золу-уноса, каменную муку – тонкодисперсный базальтовый или иной наполнитель. Роль данного компонента многоплановая: при равномерном распределении в объеме цементного теста и бетона стабилизировать бетонную смесь, предотвращая ее расслоение; особо тонкодисперсные фракции способны катализировать процесс образования кристаллогидратов, т.е. служить центрами кристаллизации и участвовать в формировании структуры цементного камня; кроме этого, удерживая поверхностью часть воды затворения они «сохраняют» ее для последующего продолжения гидратационного процесса в затвердевшем бетоне и снижения отрицательного эффекта от микроусадки (иногда называемой «аутогенной») цементного камня, продолжающего твердеть в условиях нехватки жидкости, т.к. эти бетоны характеризуются низким начальным водосодержанием.

Традиционные литые бетонные смеси (не содержащие структурирующий компонент) подвержены расслоению. Предотвращению этого отрицательного эффекта способствуют: повышение доли мелкого заполнителя в смеси с крупным; снижение крупности зерен заполнителя (мелкозернистые бетоны меньше расслаиваются); подбор непрерывной гранулометрии заполнителей и рационального содержания (расхода) цемента; введение в состав ($\geq 5\%$ от МЦ) минеральных добавок (микрокремнезема, а также золы-уноса, бентонитовой глины, доломитовой муки и т.п., если отсутствуют ограничения к их применению; введение в составы стабилизирующих химических добавок (метилцеллюлозы; полиэксетилен и др.).

При укладке таких бетонных смесей необходимо: исключать подачу ленточными транспортерами и свободным падением, используя распределяющие и направляющие поток смеси рукава (хоботы), лотки и т.п.; укладывать смесь слоями не более 200 мм, равномерно распределяя в плане бетонируемого изделия; использовать только герметичные формы, исключая их разгерметизацию в процессе бетонирования.

Использование бетонных смесей такой консистенции в заводских условиях предполагает изготовление изделий в стационарных (не перемещаемых) формах.

В особых случаях (тонкостенные вертикально изготавливаемые изделия; высокая степень армирования; конфигурационно-сложные элементы и т.п.) по результатам предварительной оценки заводской (или профильной научно-исследовательской) лаборатории допускается кратковременное (≤ 3 с) вибрирование формуемого бетона.

Способ сухого формования особо плотного бетона заключается в том, что в формообразующей матрице уплотняют вибрированием (со стандартными параметрами: $A \sim 0,5$ мм; $f \sim 50$ Гц) сухую бетонную смесь рационального состава (цемента – 350...400 кг; песка стандартной гранулометрии – 800...850 кг; щебня плотных горных пород – 1200...1300 кг на 1 м^3 уплот-

ненной бетонной смеси) под пригрузом в 0,015...0,025 МПа, а затем насыщают водой (или водными растворами химических добавок – ускорителей твердения бетона) под давлением до 0,5...1,0 МПа, после чего повторно вибрируют с пригрузом при указанных ранее параметрах.

С учетом наибольших затрат времени на водонасыщение отформованной сухой бетонной смеси (при давлении 0,5...1,0 МПа время насыщения слоя в 50...80 мм составляет 15...30 с) реализация способа рациональна в варианте карусельной установки для формирования, например, тротуарных и иных плит. То есть, с разделением операций первичного уплотнения, водонасыщения и повторного уплотнения при параллельном (одновременном) выполнении их на разных постах установки. Способ прошел опытно-производственную апробацию (при изготовлении тротуарных плит и бортовых камней), но находится в стадии освоения, т.к. для его реализации требуется специализированное оборудование.

Вместе с тем высокие качественные характеристики особо плотного бетона сухого формирования позволяют считать эту технологию перспективной. В частности, прочность свежесформованного бетона после повторного уплотнения (до 2...3 МПа) позволяет бездефектно распалубивать изделия в виде плит, бортового камня не только частично – на поддон, но и допускает манипуляции с ними при полной распалубке. Высок темп роста прочности бетона (ранее приведенного состава) - до 30...35 МПа при температуре среды $\sim 20^{\circ}\text{C}$ за 24 ч твердения, а с ускорителями твердения (1% CaCl_2 или Na_2SO_4 от МЦ) – до 40...45 МПа за этот же период, при прочности проектного (28 суток) возраста 70... 75 МПа (при марке цемента М400) и 80...85 МПа (для М500).

Бетон проектного возраста характеризуется водопоглощением по массе $< 2\%$; водонепроницаемостью $\geq 2,0$ МПа; морозостойкостью (водная среда) ≥ 1000 циклов; высокой коррозионной устойчивостью в солевых средах и защитной способностью по отношению к стальной арматуре, что является отражением особо плотной и непроницаемой структуры полученного по этой технологии материала.

8 ТЕПЛОВАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТВЕРДЕНИЯ И СТРУКТУРА БЕТОНА. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ.

С целью ускорения твердения бетона и оборота форм (бортоснастки), тепловых установок и агрегатов отформованные изделия подвергают тепловой обработке. Это позволяет сократить время твердения, необходимое для набора бетоном требуемого уровня прочности: распалубочной (обеспечивающей бездефектную распалубку изделий), передаточной (обеспечивающей передачу усилия преднапряжения арматуры на бетон без ее проскальзывания), отпускной (требуемой к моменту отпуска продукции потребителю), а в отдельных случаях – проектной, т.е. соответствующей ее уровню в проектном (28 сут.) возрасте.

Действующими нормативными документами и в проектной документации на изделия нормируются и назначаются (указываются) величины передаточной (70...100% от уровня прочности проектного возраста бетона), отпускной (до 70...90% в летний период и до 90...100% в зимний период работ; в отдельных случаях (например, для ряда преднапряженных изделий) – 100% круглогодично. Минимально необходимая распалубочная прочность сборных бетонных и железобетонных изделий (с ненапрягаемой арматурой) может быть ниже указанных величин, но не рекомендуется менее 50% от уровня проектного возраста. Раннюю распалубку изделий обычно применяют с целью ускорения оборота форм и увеличения производительности (съема продукции), а также снижения энергетических затрат на сокращенный вариант тепловой обработки с последующим «дозреванием» изделий до набора бетоном отпускной прочности в помещении цеха (обязательно в зимний период), либо на складе готовой продукции.

Подобный, но несколько отличающийся вариант практикуют при 2-х стадийной тепловой обработке на кассетно-конвейерных линиях (см. п. 2.4), а также при изготовлении крупноразмерных объемно-блочных изделий и др. В этих случаях первая стадия тепловой обработки осуществляется на месте формирования изделий до набора бетоном минимальной распалубочной прочности (при частичной распалубке - на несущих конструкциях подвижной части формирующих устройств), а затем изделия на опорных (подвижных элементах) поступают в тепловые агрегаты (или посты) для прохождения 2-ой стадии тепловой обработки до достижения требуемого для полной распалубки (или отпуска потребителю) уровня прочности бетона.

В соответствии с учебным планом специальности «Производство строительных изделий и конструкций» вопросы, относящиеся к расчету режимов тепловой обработки бетона (изделий), а также к применяемому при этом теплотехническому оборудованию (оснащению), к расчету сетей подвода теплоносителей и др. особенностям процесса реализации тепловой обработки, рассматриваются в соответствующих учебных дисциплинах. В настоящем учеб-

ном пособия проблематика ускорения твердения бетона изучается с позиций влияния теплового воздействия и условий реализации процесса твердения на формирование его структуры и зависящих от нее физико-технических свойств цементного конструкционного бетона.

8.1 Структура (пористость) цементного камня и бетона.

В учебной и научно-технической литературе общая тенденция изменений пористости цементного тяжелого бетона во времени, если условия его хранения в целом благоприятны (близки к нормально-влажностным: $t \sim 20 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\phi \geq 90\%$), приводится в варианте графических зависимостей рисунка 106.

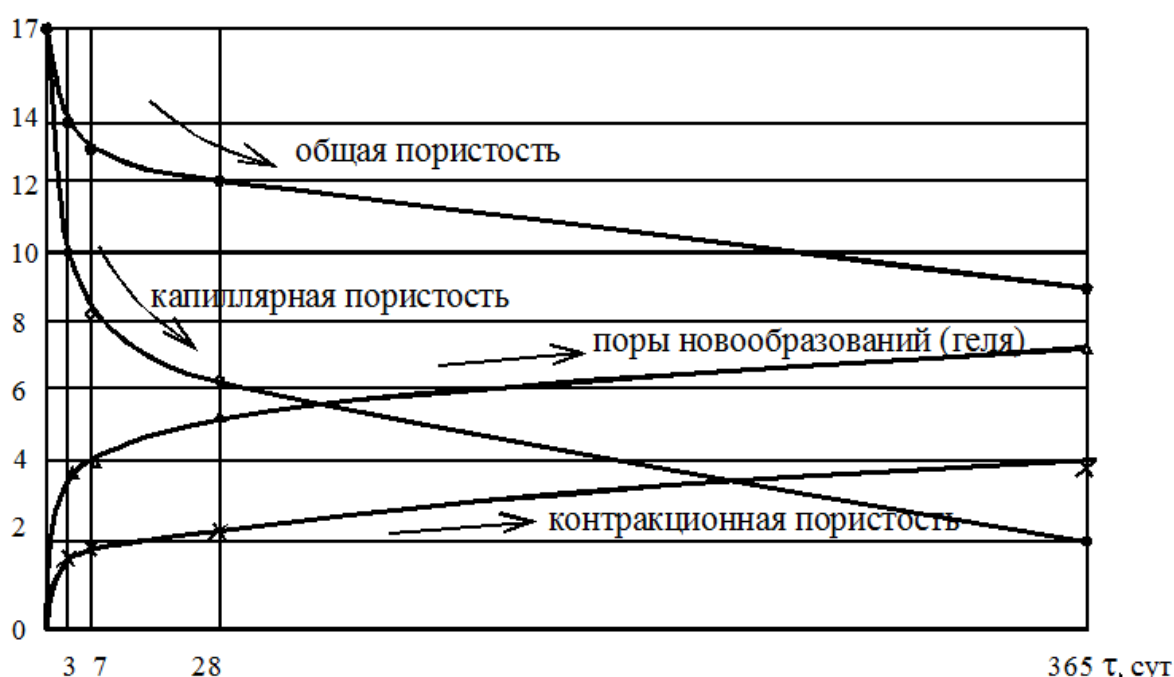


Рис. 106. – Тенденция изменений пористости бетона во времени.

Начальная «пористость» свежесформованного (уплотненного) бетона на заполнителях плотных горных пород ($\Pi_{\text{нач}} \sim 17\%$, рис. 105) может соответствовать следующим условиям. В частности, в этом случае общий объем «пор» складывается из: $\Pi_{\text{нач}} \sim V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{B}}$ или $\Pi_{\text{нач}} = (V/1000 + V_{\text{B}}) \cdot 100$. При объеме воды затворения $V_{\text{H}_2\text{O}} \sim 150\text{л}$, коэффициенте уплотнения $K_{\text{упл}} = 0,98$, при воздухо-вовлечении смеси, соответствующем $V_{\text{B}} = 0,02$, пористость бетона составит: $\Pi_{\text{нач}} = (150/1000 + 0,02) \cdot 100 = 17\%$.

В общем случае «общая пористость» бетона на заполнителях из плотных горных пород зависит от пористости и объема цементного камня: $P_b \sim P_{ц.к.} \cdot V_{ц.к.}$, при этом $P_{ц.к.} \sim (25...45)\%$ и включает как пористость собственно цементного камня, так и поры зон его контакта с заполнителями. Следует отметить, что пористость этих зон по размерам сечений превышает таковые в объеме цементного камня и характеризуется большей проницаемостью.

Структурная пористость цементного бетона на легких заполнителях дополняется объемом их пористости. Одновременно (на таких заполнителях как аглопорит, доменные шлаки, пемзы и т.п.) снижается пористость зон их контакта с цементным камнем. Причина - развитая поверхность зон контакта и способность составляющих этих материалов к реакции $Ca(OH)_2$ и образованию кристаллогидратов силикатной группы, что способствует процессу уплотнения «переходных» зон.

Общая пористость тяжелого бетона включает:

- капиллярную;
- контракционную;
- поры новообразований (геля);
- седиментационную;
- общие нарушения структуры (например, от недоуплотнения),

а для легкого бетона (как общего случая) дополняется пористостью заполнителей.

Капиллярная пористость представляет собой разветвленную, взаимосвязанную сеть сообщающихся капилляров различных размеров сечений и длины, включающих открытый выход на поверхность бетона. То есть, это открытая, сообщающаяся сеть пор, наиболее опасная с позиций обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности бетона, а по сути – всей совокупности его свойств: прочностных (поры – концентраторы напряжений при работе бетона под нагрузкой), упруго-деформативных, эксплуатационных (водонепроницаемости, морозо-, коррозионной стойкости, защитной способности по отношению к стальной арматуре и т.д.).

Снижение объема и размеров сечений капиллярной пористости в бетоне способствует повышению плотности и непроницаемости, а на этой основе – росту всей совокупности других технических свойств.

Основные технологические факторы, которые вызывают образование капиллярной пористости в цементном камне и бетоне и, одновременно, являются направлениями уменьшения ее объема:

- начальное водосодержание бетона (В/Ц), значительно превышающее количество воды, необходимое для обеспечения реакций гидратации цемента, которое не превышает, согласно теоретическим выкладкам, $\sim 0,23$ долей ед.; при существенно меньшем фактическом количестве химически связан-

ной цементной воды в реальных условиях твердения бетона, т.к. степень гидратации цемента практически не превышает 70...80 %;

- минералогический состав цемента; в частности, требуется ограничение содержания $C_3A \leq 8\%$ (5%) для бетона с повышенной и особо высокой морозостойкостью соответственно, т.к. крупные кристаллогидраты этого минерала формируют пористую структуру и снижают способность цементного камня и бетона сопротивляться знакопеременным циклическим деформациям;

- вещественный состав цемента, т.е. наличие, количество и вид введенной минеральной добавки (исключение составляет минеральная добавка в виде аморфного (активного) микрокремнезема, способного связывать $Ca(OH)_2$ в гидросиликаты кальция); тонкодисперсная минеральная добавка адсорбирует часть воды затворения, но не вступает с ней в реакции; как следствие этот объем воды увеличивает объем капиллярной пористости цементного камня и бетона;

- наличие и количество пылевидных фракций в заполнителях, а также использование мелкозернистых песков, что (из-за высокой удельной поверхности и адсорбционной способности) сопровождается ростом количества воды затворения для обеспечения требуемой формуемости смеси;

- недоуплотнение бетона по причинам несоответствия интенсивности воздействия уровню формуемости смеси, формования с нарушениями технологии подачи смеси (по требуемой высоте слоя, равномерному распределению в плане формируемого изделия(ий) и т.п.), а в ряде случаев – из-за ошибок в расчете состава (превышена доля крупного заполнителя или завышен допустимый размер его зерен и др.);

- применен жесткий (или нарушен расчетный) режим и условия тепловой обработки (или иного примененного варианта) твердения бетона и пр.

Классификация пор по геометрическим характеристикам поперечного сечения (или длины) не нормируется. Однако общепризнанна их градация по размерам поперечного сечения (условного диаметра) на:

- макрокапилляры ($d > 1,0 \dots 10,0$ мкм);
- мезокапилляры ($d \sim 0,1 \dots 1,0$ мкм);
- микрокапилляры ($d \leq 0,1$ мкм или $\leq 1000 \text{ \AA}$).

На рис. 107 показана условно схема капилляров сечением ≤ 1 мкм и $\leq 0,1$ мкм. Оба капилляра заполнены водой, но если жидкость в большем капилляре находится в «адсорбционно-диффузном» состоянии и может перемещаться под давлением, испаряться, то в капилляре сечением $\leq 0,1$ мкм «смыкаются» адсорбционные слои (ряды молекул воды). Под действием силового поля поверхности твердой фазы молекулы жидкости создают собственную структуру, которая характеризуется плотностью более $1,0 \text{ г/см}^3$ и способностью сопротивляться сдвиговым усилиям. Такая «вода» при замерзании переходит в лед без увеличения объема, т.к. его плотность также превышает $1,0 \text{ г/см}^3$, а

бетон, характеризующийся такой структурой, обладает высокой непроницаемостью и устойчивостью к агрессивному воздействию эксплуатационной среды.

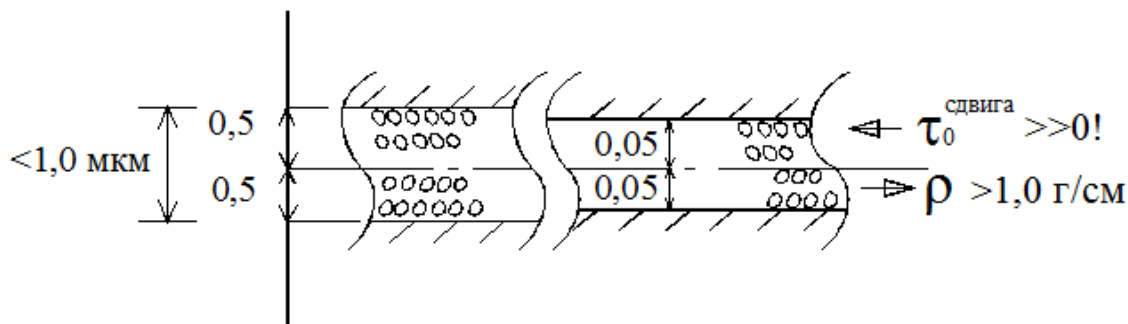


Рис. 107. – Схема капилляра (изменение свойств H_2O : $\rho_{\text{в}} > 1 \text{ г/см}^3$ при $d \leq 1000 \text{ \AA}$ ($\leq 0,1 \text{ мкм}$)).

В этой связи, для решения задачи повышения эксплуатационной надежности и долговечности бетона, необходимо формировать его структуру, характеризующуюся минимальной величиной капиллярной пористости, которая, в свою очередь, должна быть микрокапиллярной.

Контракционная пористость цементного камня образуется в следствие уменьшения исходного объема цементного теста (цемент + вода) по сравнению с цементным камнем в бетоне в процессе его твердения. Образующиеся кристаллогидраты (продукты реакций клинкерных минералов цемента с водой) характеризуются плотностью $> 2,0 \text{ г/см}^3$ и занимаемый ими объем в объеме цементного камня меньше, чем начальный объем воды в цементном тесте (рис. 108, а)).

В процессе твердения исходный размер (объем) частиц цемента уменьшается, а вокруг них формируются «реакционные каемки» из кристаллогидратных новообразований (рис. 108, б)). В.Н. Юнг классифицировал эту формирующуюся систему как «микробетон», в котором остаточные зерна цемента играют роль заполнителя, а соединившиеся в единое целое реакционные каемки – связующего. В этой системе образуется пористость, которая пронизывает весь объем цементного камня, т.е. сообщающаяся пористость. При этом в объеме твердеющего цементного камня (и бетона) возникает эффект разрежения (вакуума). Объем и размеры сечений контракционных пор зависят от минералогического состава цемента (возрастают для высокоалюминатных ($\text{C}_3\text{A} > 8\%$), тонкости его помола (возрастает с ее ростом), условий твердения (возрастают при жестких режимах прогрева, особенно при твердении в условиях низкой влажности). Их поперечные размеры по разным оценкам могут очень широко колебаться: размеры сечений – от 40 \AA до $1,0 \text{ мкм}$ (10000 \AA), то есть при неблагоприятных условиях могут «развиться» до состояния макрокапиллярных пор.

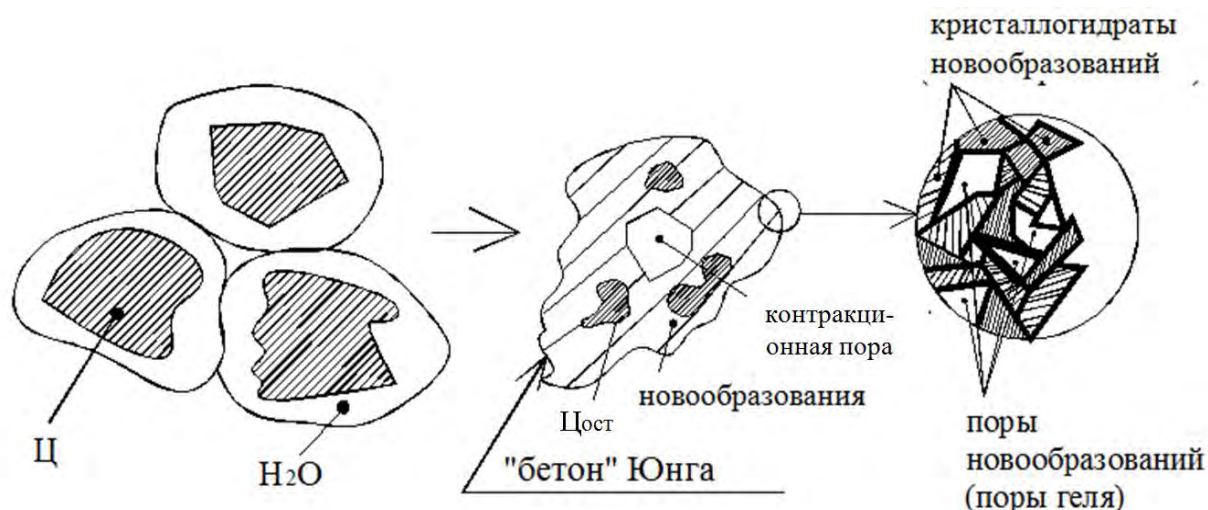


Рис. 108. – Схема образования контракционных пор и пор новообразований (геля).

Поры новообразований (геля) – дефекты структуры, которые образуются при формировании структуры реакционных каемок из кристаллогидратов клинкерных минералов в твердеющем цементном камне (рис. 108, в)). Эта структура образуется спонтанно на фоне сложившейся коагуляционной структуры цементного теста (геля). И чем более организована, т.е. чем плотнее сформирована коагуляционная структура цементного теста (геля), тем плотнее и качественнее (при прочих равных условиях) будет структура реакционных каемок в затвердевшем цементном камне, выше плотность и прочность бетона. Поры новообразований преимущественно замкнуты, размеры их сечений малы: $5 \dots 40 \text{ \AA}$ (50 \AA).

Увеличение «доли» контракционной и «гелевой» пористости (см. рис. 106) в общем объеме пор цементного камня (и бетона) с течением времени отражает продолжение развития реакций цемента с водой. При благоприятных условиях «работы» бетона (подводные, подземные части зданий и сооружений и т.п.) этот процесс может продолжаться многие десятилетия. Такие наблюдения и данные известны, особенно в отношении бетона, приготовленного на грубомолотых цементах ($S_{уд} < 2500 \text{ см}^2/\text{г}$), зерновой состав которых характеризуется значительным содержанием частиц крупнее 80 мкм (по остатку на сите № 008). Развитие реакций и увеличение новообразований способствует снижению капиллярной и «общей» пористости цементного камня и бетона (рис. 106).

На рисунке 109 представлена принципиальная схема образования «седиментационных» пор. Это явление имеет место при использовании высоко

пластичных и литых бетонных смесей и, в большей степени, приготовленных с использованием крупного заполнителя, содержащего фракции ≥ 20 мм.

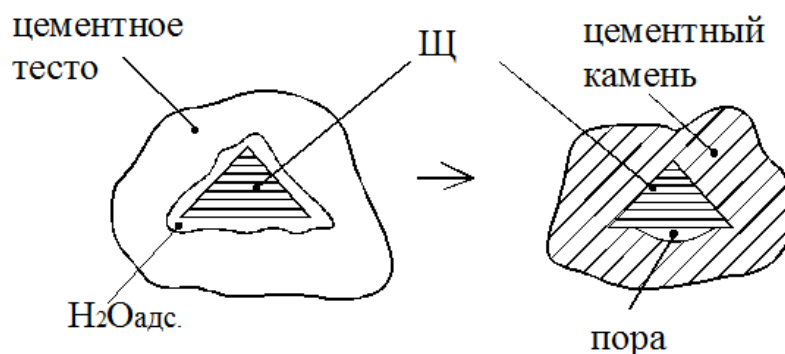


Рис. 109 – Схема образования седиментационных пор.

Адсорбированная на поверхности зерен заполнителей вода при определенных условиях может сосредотачиваться под их нижней поверхностью, образуя седиментационную пору (пористость). Естественным решением, предотвращающим их (ее) появление, является снижение начального водосодержания за счет применения пластифицирующих добавок для обеспечения требуемой консистенции и «формуемости» бетонной смеси, а также интенсификация уплотнения при формировании бетона.

Необходимо отметить, что адсорбируемая поверхностью зерен заполнителей вода увеличивает водоцементное отношение цементного теста в зонах его контакта с заполнителем. В этих объемах концентрируется большее количество кристаллогидратов $Ca(OH)_2$, имеющих меньшую прочность, чем структура кристаллогидратных новообразований клинкерных минералов цемента. Как следствие, затвердевший цементный камень в этих зонах имеет существенно большую пористость и меньшую прочность, что влияет на рост проницаемости и снижение прочности бетона, так как снижаются силы сцепления цементного камня с заполнителем. Под нагрузкой трещинообразование в тяжелом бетоне в первую очередь проявляется в зонах их контакта.

8.2 Основные технологические факторы, влияющие на «плотность-пористость» бетона.

Вся совокупность физико-технических свойств бетона, определяющая его качество, эксплуатационную надежность и долговечность строительных изделий и конструкций, базируется на плотности, непроницаемости и прочности структуры цементного камня и бетона в целом. Существует непосредственная взаимосвязь между плотностью и непроницаемостью структуры бетона для агрессивных реагентов эксплуатационной среды с его устойчиво-

стью по отношению к внешним воздействиям (растворов солей, попеременному увлажнению-высушиванию, замораживанию-оттаиванию и пр.), включая механические нагрузки: сжатие, изгиб, растяжение, динамические многократные воздействия, истирание и т.д., а также со способностью бетона защищать стальную арматуру железобетонных конструкций.

Общей технологической задачей является получение бетона с максимальной для конкретного случая плотностью, т.е. с минимальной пористостью и, особенно, с минимизацией открытой сообщающейся капиллярной составляющей. Кроме решения задач по обеспечению эксплуатационных свойств бетона (морозо-, коррозионной стойкости, вонепроницаемости, истираемости, защитной способности по отношению к стальной арматуре и т.д.) снижение объема и размера пористости обеспечивает рост механических характеристик бетона: прочностных (уменьшается количество пор - концентраторов напряжений, провоцирующих трещинообразование), упругодеформативных (растет модуль упругости, снижается модуль Пуассона, усадка и ползучесть и пр.), повышается трещиностойкость и долговечность конструкций.

Особый случай представляет собой создание *искусственной замкнутой пористости* в бетоне за счет применения воздухововлекающих добавок (СНВ, СДО, разных видов ГКЖ и др.). В общем случае объем воздухововлечения в конструкционном бетоне допускается до 7%, при ограничении 3...4% для преднапрягаемых (в частности, мостовых) конструкций. Замкнутая пористость (рекомендуется чтобы диаметр «ячеек» был не более 250 мкм) способствует повышению водонепроницаемости, морозо-, солестойкости бетона. Во-первых, за счет эффекта «рассекания» или укорочения длины капилляров сообщающейся пористости и снижения величины капиллярного подсоса, т.е. ограничение диффузии воды и агрессивных реагентов в глубь бетона; во-вторых, указанные химические вещества гидрофобны и (адсорбируясь на стенках пор) затрудняют проникновение воды и водных растворов в бетон; в-третьих, объем ячеек заполнен воздухом и служит дополнительными резервуарами-демпферами, которые (до полного заполнения жидкостью) способствуют понижению местных напряжений в замораживаемом бетоне от расширения в нем замерзающей свободной воды. Этот технологический прием эффективен в бетонах низких классов, характеризующихся значительной пористостью. Вместе с тем установлено, что с ростом плотности (в частности, при водопоглощении бетона по массе < 4%) и прочности более 60 МПа использование данного приема не целесообразно, т.к. дополнительная пористость и добавки, применяемые при этом, существенно снижают прочностные характеристики бетона. То есть, понижают его способность сопротивляться механическим воздействиям и накапливающимся усталостным деформациям в структуре цементного камня и бетона при попеременном замо-

раживании-оттаивании, особенно в солевой среде. В этом случае целесообразно стремиться к повышению плотности (непроницаемости) бетона и его прочности, как факторов высокой морозо-, коррозионной стойкости.

Основными факторами, влияющими на формирование структуры (пористости) цементного камня и бетона, являются:

- *свойства и качество материалов:*

· для цемента – минералогический и вещественный состав, тонкость помола, водопотребность (связанная с составом и тонкостью помола);

· для заполнителей - содержание пылевидных и глинистых фракций; зерновой состав, в частности, зернистость и удельная поверхность песка, а также общая гранулометрия смеси мелкого и крупного заполнителя и объем ее пустотности; состояние (шероховатость) поверхности зерен; собственная пористость заполнителей;

· для применяемых химических добавок – роль их вещества в формировании структуры за счет снижения начального водосодержания (пластификаторы); эффекта воздухововлечения (пластификаторы и воздухововлекающие); уплотнения структуры (за счет обменных реакций или непосредственной коагуляции пор); влияния на сроки схватывания цемента и снижения формуюмости бетонных смесей во времени;

- *качество проектирования состава*, в частности, точность расчета оптимального начального водосодержания (водоцементного отношения) бетона, объема цементного теста, соотношения крупного и мелкого заполнителей, обеспечивающих требуемую по условиям формирования бетона консистенцию бетонной смеси и свойства бетона;

- *качество дозирования и приготовления* – соблюдение расчетной рецептуры и однородность бетонных смесей;

- *условия транспортирования и укладки* без расслоения бетона, интенсивность и качество его уплотнения и, как следствие, однородность свойств;

- *режим твердения бетона*. Обобщая известные положения технологии цементного бетона по критерию влияния условий его твердения на формирование структуры можно составить следующий ряд. Наиболее благоприятны водные условия твердения; далее идут нормально-влажностные условия (температура $t \sim 20 \pm 5$ °С; относительная влажность $\phi \geq 90\%$); естественные при положительной температуре в условиях гидроизоляции (например, защитными пленкообразующими или иными составами, пленочными материалами); тепловая обработка в варианте термоса с низкотемпературным нагревом; термообработка в среде водяного пара (паропрогрев в ямных и иных камерах (агрегатах); контактный прогрев в замкнутых формах (кассеты; стенд-формы балочного типа); прогрев в паровоздушной среде с нагревом регистрами, электронагревателями, отходящими газами. Наихудшими условиями, с позиций формирования плотной структуры бетона, являются воздушно-

сухие условия твердения, без гидроизоляции поверхности, особенно в среде подвижного воздуха или сухого теплоносителя.

8.3 Тепловая обработка и структура цементного камня и бетона.

8.3.1 Активность цемента.

Под активностью цемента традиционно понимают уровень фактической прочности (на сжатие) образцов стандартизированного состава (Ц : П=1 : 3) и консистенции в возрасте 28 сут. водного твердения, на основании которой определяют марку (класс) цемента.

Для оценки активности цемента с позиций темпа роста прочности в начальный период наиболее широко (и обоснованно) применяют две методики. Согласно СТБ-ЕН 197-1 и СТБ-ЕН 196-1 определяют прочность в раннем возрасте – через 2 сут. твердения (24 ч – в нормально-влажностных условиях и 24 ч – в воде) для цементов класса по прочности «42,5» и «52,5» (соответствует маркам М500 и М600 по ГОСТ 10178). По результатам испытаний цемент относят к классу с обычной прочностью в раннем возрасте с маркировкой «42,5N» (52,5N) и с высокой прочностью в раннем возрасте – «42,5R» (52,5R).

Вторая методика предложена профессором Л.А. Малининой и заключается в определении соотношения прочности на сжатие образцов цементно-песчаного (1:3) раствора (В/Ц ~ 0,4) после пропаривания по режиму: выдержка – 2 ч; подъем до $t \sim 80...85$ °С – 3 ч; изотермический прогрев – 6 ч; остывание в пропарочном бачке - 2 ч, и испытание не позднее 24 ч от момента изготовления, к прочности на сжатие фактической в возрасте 28 сут. водного твердения. С целью ускорения испытания (тогда оно осуществляется за 24 ч) за фактическую прочность принимают показатель марки цемента. В зависимости от величины коэффициента эффективности « $K_{эф}$ » вяжущее относят к I, 2-ой или 3-ей группе эффективности цемента при пропаривании: I - $K_{эф} = f_{с.пр} / f_{с.вод.тв.} \geq 0,68$; II - $K_{эф} \sim 0,56...0,67$; III - $K_{эф} \leq 0,55$.

Следует отметить, что не смотря на отличие этих методик результаты оценки по ним активности цемента вполне соотносятся между собой потому, что отражают взаимосвязь темпа роста прочности цемента с его минералогическим составом (при примерном постоянстве тонкости помола ($S_{уд.ц.}$, см²/г)).

Так цементы 1-ой группы эффективности при пропаривании практически соответствуют чистоклинкерным (бездобавочным) вяжущим с маркировкой «R» и по минералогическому составу относящимся к «алитовой» (содержание в них $3CaO \cdot SiO_2$ (C_3S) превышает 55 % от массы клинкерной части вяжущего) и «алитоалюминатной» группе ($C_3S + C_3A$ ($3CaO \cdot Al_2O_3$)) превышает 60 %). Эти цементы характеризуются не только высоким темпом твердения (роста прочности), но и значительным тепловыделением (экзотерми-

ей). Последнее связано с известными данными об удельном тепловыделении отдельных клинкерных минералов (в кДж/кг за 3 сут. твердения), составляющем для C_3A – 592; C_3S – 407; C_4AF – 186; C_2S – 63, кДж/кг.

Необходимо подчеркнуть, что активность цемента возрастает с увеличением тонкости помола сверх 3000...3500, $см^2/г$ (по прибору «ПСХ»), но при повышении ее сверх 3500, $см^2/г$ (особенно при совместном помоле с песком – «песчанистый» цемент) в вяжущем практически отсутствуют зерна крупной фракции (≥ 80 мкм, при оценке по ситы № 008). Это чревато, во-первых, ростом усадочных явлений и трещинообразованием бетона, а во-вторых, снижением защитной способности бетона по отношению к стальной арматуре, т.к. только наличие крупных зерен обеспечивает условия для продолжения гидратации вяжущего и поддержания уровня $pH \geq 11,8$, необходимого для предотвращения коррозии арматуры.

8.3.2 Влияние режима тепловой обработки на формирование структуры цементного камня и бетона.

Предварительная выдержка назначается с целью минимизации нарушений в структуре бетона на стадии подъема температуры при тепловой обработке изделий. За время предварительной выдержки бетон должен набрать некоторую прочность, достаточную для восприятия деструктивных факторов, сопровождающих период подъема температуры, без нарушений сложившейся при формировании структуры бетона.

Наиболее значительными причинами деструкции бетона на стадии подъема температуры являются:

- неравномерное взаимное расширение твердой, жидкой и газообразной фаз в структуре бетона при примерном соотношении объемного расширения - Т:Ж:Г 1:10:100, доли ед.;
- миграция жидкой фазы в объеме бетона в соответствии с закономерностями термодинамики «от теплого к холодному», т.е. на начальной фазе - в глубь объема бетона, с образованием направленных «фильтрационных» каналов (пор);
- конденсатообразование (особенно при паропрогреве) на открытых поверхностях изделий, сопровождающееся размывом контактного слоя бетона и дополнительным увеличением начального водосодержания;
- наличие и соотношение неопалубленных (открытых) и опалубленных поверхностей изделий, особенно в плитообразных изделиях, изготавливаемых горизонтально;
- влияние деформаций стальных форм, поддонов, которые нагреваются и расширяются быстрее свежесформованного бетона и могут вызвать образование трещин в его объеме.

Продолжительность предварительной выдержки назначается в широких пределах: от 0,5...1,0 ч для кассетного производства («глухих» форм, при малых площадях открытых поверхностей) до 3...6 ч в случае применения воздухововлекающих химических добавок, при рекомендуемых больших значениях для открытых форм (например, при изготовлении плит горизонтально), а также при повышенных требованиях к бетону в части водонепроницаемости, морозо-, коррозионной стойкости.

Сокращению времени выдержки способствует снижение водоцементного отношения и использование жестких бетонных смесей, а также введение в бетон химических добавок, ускоряющих схватывание и твердение (темпа роста прочности) бетона.

Время выдержки увеличивается с введением химических добавок пластифицирующей группы (особенно 3-ей и 4-ой групп), т.к. молекулы поверхностно-активных веществ (ПАВ) в их составе концентрируются у поверхности зерен (флоккул) цемента, частично препятствуя доступу воды к ней, чем замедляют развитие реакций гидратации вяжущего. Следствием является увеличение сроков схватывания и замедление твердения цемента, медленное формирование коагуляционной структуры цементного теста в бетоне и снижение темпа роста его прочности, особенно в первые часы твердения.

Еще значительнее эффект «торможения» проявляется, если ПАВ использованных добавок обладают гидрофобными свойствами (СДО, СНВ, ГКЖ и др.) и, как уже отмечалось, способствуют повышенному воздухововлечению в бетон. В последнем случае может потребоваться увеличенная (до 5...6 ч) предварительная выдержка бетона.

Необходимое время предварительной выдержки для конкретных условий изготовления изделий, а также режимы их тепловой обработки определяет строительная (производственная) лаборатория.

Подъем температуры при тепловой обработке изделий очень важный ее период с позиций влияния на формирующуюся структуру бетона. Наличие перепада температуры между теплоносителем (средой) и поверхностью бетона и форм при конвективном теплообмене (ямные, туннельные и иные камеры) и поверхностью нагреваемого бетона и форм при кондуктивном теплообмене (кассеты, термоформы и т.п.), неизбежно создает напряженное состояние в объеме бетона. Основные причины возможной его деструкции при подъеме температуры приведены в предыдущем разделе. Минимизировать отрицательные для структуры бетона последствия позволяет мягкий режим подъема температуры, обеспечивающий сведение к минимуму ее градиент по сечению прогреваемого бетона, а также между бетоном и теплоносителем или теплопередающими элементами форм.

С этой целью, во-первых, ограничивается и регулируется скорость подачи тепла к бетону, выражающаяся в размерности " $^{\circ}\text{C}/\text{час}$ " и в общих пределах

составляющая от 5...10, °С/час, при прогреве изделий с немедленной распулбкой (тротуарных плит, бортовых камней и пр.) и других, к бетону которых предъявляют повышенные требования в части водонепроницаемости, морозо-, коррозионной стойкости и пр. Скорость подъема температуры может быть увеличена до 40...50, °С/час, если изделия изготавливают в «глухих» формах (кассеты, стенды объемных изделий и т.п.) и к бетону не предъявляют повышенных эксплуатационных требований. Кроме отмеченного, скорость подъема зависит и назначается с учетом размера сечения бетона в изделии, т.е. их массивности. В частности, не должна превышать: ≤ 20 °С/час, для толщины слоя бетона в 300...400 мм (ОНТП-07-85). Для преднапряженных железобетонных изделий, изготавливаемых на стендах, рекомендуемая скорость подъема температуры соответствует ≤ 10 , °С/час.

Во-вторых, рекомендуются (особенно для стендового производства преднапряженных, большепролетных железобетонных конструкций - ферм, балок, балок-складок и т.п.) подъем температуры по «ступенчатым режимам» либо «нарастающим темпом». Ступенчатый режим подъема включает, например, подъем температуры до 40...50 °С за 2...3 ч, затем выдержку на этом уровне 1...2 ч и окончательный подъем до расчетного уровня. Режим подъема температуры «нарастающим темпом» предполагает ее плавный подъем: за 1-ый час со скоростью ≤ 10 °С/час; за 2-ой час ≤ 20 °С/час и так далее, до расчетного уровня температуры прогрева. Оба варианта позволяют минимизировать перепад температуры между средой и бетоном изделий.

Изотермический прогрев оказывает существенное влияние на процесс формирования структуры (пористости) цементного камня и бетона в целом. Продолжительное воздействие высокой температуры интенсифицирует процесс гидратации цемента, т.к. с повышением температуры, с одной стороны, понижается потенциальная энергия, с которой частицы клинкерных минералов, находящиеся на поверхности зерен цемента, удерживаются в системе этой твердой фазы, и нарастает кинетическая энергия их колебаний, т.е. снижаются силы, удерживающие их в равновесном состоянии. С другой стороны, активизируется броуновское движение воды, возрастает подвижность ее молекул и в каждую единицу времени увеличивается число ситуаций, при которых обеспечивается условие растворения или гидролиза, сформулированное Д.И. Менделеевым. То есть, отрыв элементарной частицы твердой фазы от массива обеспечивается тогда, когда совокупное усилие молекул растворителя (N_2) превысит усилие (N_1), с которым эта частица удерживается силами взаимодействия в твердой фазе (рис. 110, а).

Схема рис. 110 б) в первом приближении позволяет понять ускорение процесса гидролиза - гидратации при введении в бетон химических ускорителей твердения. Большезарядные ионы этих веществ - электролитов на данном этапе взаимодействия цемента и воды наращивают ее «ионную» силу,

что имитируется величиной « N_3 », превышающей усилие n -го количество молекул воды без добавки « N_2 », что способствует ускорению развития процесса гидролиза и последующей гидратации.

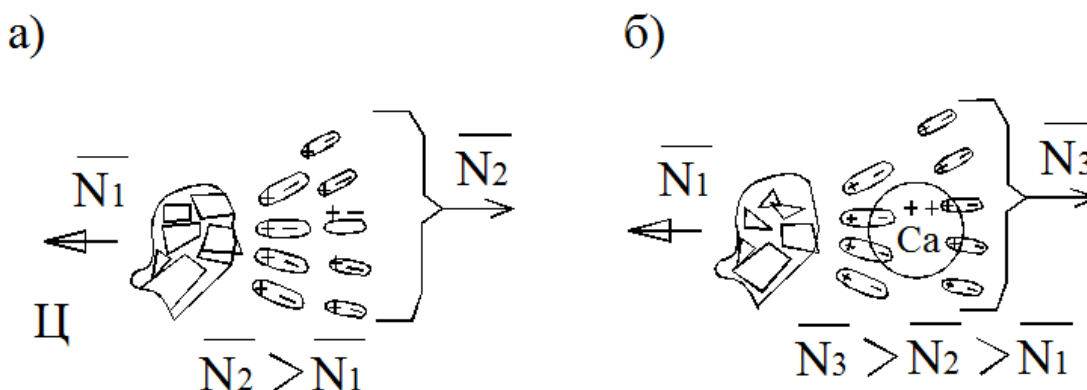
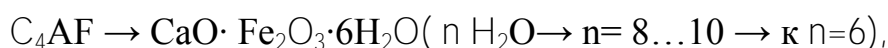
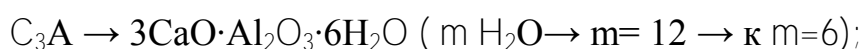
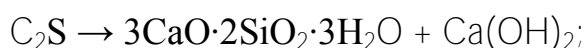
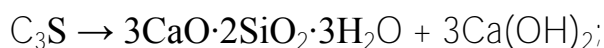


Рис. 110 Принципиальная схема - условие гидролиза.

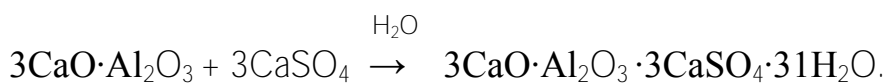
Это же схема рис. 110 б) позволяет понять тормозящее процесс гидратации влияние пластифицирующих добавок (особенно 3-ей и 4-ой групп и в еще большей степени - содержащих гидрофобные ПАВ). Концентрируясь у поверхности зерен (флоккул) цемента и, в первую очередь, у ее активных центров (выходов на поверхность ионов C_3A ; изломов, выступов, характеризующихся местным повышенным потенциалом (зарядом) этих ее участков), крупноразмерные молекулы ПАВ частично блокируют потенциал активных участков поверхности цемента, затрудняют доступ к нему молекул воды, тем самым замедляя гидратационный процесс.

В результате гидратации (процесс может идти через растворение или топохимически) образуются кристаллогидраты клинкерных минералов:



которые характеризуются размерами $\sim 80 \dots 250 \text{ \AA}$ ($8 \dots 25 \text{ нм}$); меньшими значениями для силикатной группы, большими - алюмоферритной.

Кроме этого трехкальциевый алюминат реагирует в присутствии воды с гипсовой составляющей цемента с образованием крупноразмерных кристаллогидратов этрингита:



Образование этрингита на начальной стадии твердения цементного бетона, когда твердеющий цементный камень ещё содержит значительный объем пластичной, реагирующей массы цементного теста, способствует уплотнению формирующейся структуры цементного камня. Более того, весьма эффективен (с позиции роста плотности, непроницаемости и прочности бетона) технологический прием в виде предварительной обработки поверхности крупного заполнителя водным раствором алюминатов, в частности - сульфатом алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Образующиеся в зонах контакта заполнителя с цементным камнем этрингит, характеризующийся увеличением в объеме до 2,0...2,86 раза в соотношении объема исходных компонентов, способствует уплотнению контактной зоны с сопутствующими эффектами роста непроницаемости и прочности бетона.

Образующиеся в результате реакции цемента с водой кристаллогидраты клинкерных минералов накапливаются и формируют реакционные каемки вокруг остаточных ядер цементных зерен в виде бетона Юнга (см. рис. 107). Плотность и пористость, а на этой основе - непроницаемость и прочность, цементного камня и бетона непосредственно зависят от температуры и времени изотермического прогрева, т.к. при этом может сформироваться существенно различающаяся по качеству структура бетона. Основной целью и задачей изотермической стадии тепловой обработки является ускоренное формирование структуры цементного камня в бетоне, характеризующейся образованием максимально развитых реакционных каемок, «срастающихся» по возможно большим зонам взаимных контактов и при минимальных объемах и размерах сечений контракционной пористости.

Превышение температуры прогрева и его продолжительности над рациональными величинами (особенно в случае использования высокоактивных цемента и при низком начальном водосодержании бетона) приводит к ускоренному формированию каемок из новообразований, их раннему уплотнению. Они затрудняют или вовсе блокируют доступ воды к поверхности непрореагировавшего цемента и резко замедляют, либо вовсе останавливают процесс дальнейшей гидратации. Как следствие, рост площадей зон их взаимных контактов замедляется, площадь этих зон прекращает увеличиваться, а пористость структуры возрастает; замедляется или вовсе прекращается рост прочности бетона, растет его проницаемость.

С учетом изложенного для изделий, к бетону которых предъявляют повышенные требования в части водонепроницаемости, морозо-, коррозионной стойкости, особенно, если их изготавливают с частичной или полной распушкой, рекомендуется температура изотермии не более 40°C , а для аналогичных изделий, изготавливаемых в формах: $\leq 50...60^\circ\text{C}$. При отсутствии

высоких требований по эксплуатационным свойствам рекомендуемый уровень температуры не должен превышать для цемента 1-ой группы эффективности при пропаривании (или маркировки «R») 60°C ; 2-ой группы (или маркировки «N») - 80°C и для 3-ей группы, а также шлакового (пуццоланового) цемента - 90°C .

Продолжительность изотермического прогрева должна устанавливаться строительной (производственной) лабораторией для конкретных изделий и условий осуществления производственного процесса, включая тепловую обработку, а также уровня требуемой к ее окончанию прочности бетона (передаточной; отпускной). Рекомендуемая продолжительность изотермии согласуется с уровнем температуры в зависимости от активности цемента и составляет 2...4 ч для 1-ой группы эффективности; 4...6 ч - для 2-ой группы и ≥ 6 ч - для низкоактивных вяжущих, при обеспечении прочности «горячего» (сразу после тепловой обработки) бетона $\geq 70\%$ от уровня проектного возраста (28 сут). Рекомендации по назначению режимов энергосберегающих технологий приведены в соответствующем разделе (см. далее).

Стадия охлаждения (остывания) с позиций ее влияния на структуру бетона характеризуется тем, что (при разогретом состоянии его внутреннего объема) внешний контур (особенно при работе в осенне-зимне-весенние периоды) охлаждается окружающей средой и во внешних слоях бетона возникают деформации сжатия, уменьшения объема. При значительных перепадах температуры возникают касательные напряжения, способные превысить предел прочности цементного камня на осевое растяжение с образованием, так называемого, температурного растрескивания внешних слоев бетона.

Кроме этого, форсируется процесс испарения воды и усиливается ее миграция из объема к внешнему (охлаждаемому) контуру, являющемуся в этот период зоной испарения. В совокупности эти явления способны существенно увеличить объем капиллярной пористости бетона, особенно - в его внешних слоях.

С целью предотвращения этих нежелательных явлений, во-первых, в режиме тепловой обработки предусматривается период остывания изделий после изотермии в тепловых установках (камерах, пакетах, термоформах и т.д.) в течение 1...5 ч (ОНТП-07-85), в зависимости от конкретных видов изделий (толщины слоя бетона) и условий их изготовления.

Во-вторых, в производственных цехах предусматривается место (пост) выдержки изделий после распалубки в течение 12 ч (но не менее 6 ч) при температуре наружного воздуха ниже 0°C .

С учетом изложенного рекомендуемый перепад температуры между бетоном изделий, характеризующихся толщиной слоя бетона ≥ 200 мм, а также изделий, с повышенными требованиями в части эксплуатационных свойств,

не должен превышать 20°C ; в иных случаях - до 30°C . Решение этой задачи упрощается при изготовлении изделий по энергосберегающим технологиям.

8.4 Энергосберегающие (беспрогревная и малоэнергоемкая) технологии.

При реализации *беспрогревной технологии* изготовления бетонных и железобетонных изделий отсутствует подвод тепла к бетону от внешних искусственных источников, а ускорение его твердения (т.е. повышение темпа роста прочности) обеспечивается за счёт аккумуляции теплоты, выделяемой при гидратации цемента (экзотермии), применения химических добавок, способствующих ускорению твердения бетона, создания условия твердения, способствующих саморазогреву бетона от накапливающейся теплоты экзотермии вяжущего.

По существу, беспрогревная технология - есть реализация метода «холодного» термоса. В этой связи тепловые агрегаты и устройства (ямные камеры, туннельные тупиковые камеры, пакеты форм и т.п) должны быть герметичными; предпочтительно - утепленными изнутри; максимально заполняться формами с изделиями с целью увеличения объема бетона и количества выделяющегося тепла от экзотермии цемента.

Наиболее эффективен цемент 1-ой группы при пропаривании (или маркировки «R») с повышенным содержанием C_3A и C_3S , т.е. с высокой экзотермией. Саморазогрев бетона традиционных классов (С 20/25 - С 30/37) с расходом вяжущего $\sim 300\text{...}450 \text{ кг/м}^3$ бетона в условиях термоизоляции поверхности образцов (изделий) достигает $15\text{...}20^{\circ}\text{C}$ (от исходных $10\text{...}15^{\circ}\text{C}$) за $6\text{...}8$ ч твердения, т.е. бетон "саморазогревается" до температуры $25\text{...}35^{\circ}\text{C}$. Для бетона на цементах 2-ой группы эффективности при пропаривании (маркировки «N») саморазогрев ниже и, при прочих равных условиях, составляет до $10\text{...}15^{\circ}\text{C}$. Цементы 3-ей группы для энергосберегающих технологий не рекомендуются.

Наибольший эффект дает сочетание благоприятных условий термоса и саморазогрева бетона с введением в его состав химических добавок ускорителей твердения (Na_2SO_4 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и др.). Кроме того, что они способствуют повышению темпа роста прочности бетона, они ускоряют гидратационный процесс, а это сопровождается дополнительным (увеличенным) тепловыделением гидратирующегося цемента и увеличением температуры саморазогрева бетона.

С учетом изложенного наиболее эффективно применение комплексных пластифицирующе-ускоряющего действия химических добавок, если они в качестве пластификатора содержат компонент 1-ой группы (повышение «ОК» от марки П1 до П5). Использование менее качественных пластифика-

торов снижает эффективность из-за их повышенного «тормозящего» действия на гидратацию цемента.

При соблюдении изложенных положений реализация беспрогревной технологии в период мая-сентября месяцев для климатической зоны нашей Республики (как показала практика ее использования заводами сборного железобетона) за 16...24 ч твердения бетона прочность (на сжатие) достигает $\geq 50\%$ от проектной (меньшее время – с использованием цемента 1-ой группы (или маркировки «R»)) что обеспечивает возможность бездефектной распалубки изделий с ненапрягаемой арматурой.

За 36...48 ч твердения достигается прочность бетона 70...80 % (и более) от проектной, что обеспечивает условия для передачи усилия преднапряженной арматуры на бетон и распалубки преднапряженных изделий.

Беспрогревная технология может быть успешно реализована в летний период не только в устройствах для тепловой обработки изделий, но и с использованием простейших герметичных укрытий (например, из полиэтиленовой пленки) или съемных колпаков – аналогов. Обязательным условием должно быть предотвращение испарения воды затворения из бетона за счет создания внутри укрытия влажной среды (эжекция распылением воды, либо периодическое увлажнение твердеющих изделий и т.п.). На рис. 111 графически отражена тенденция изменений температуры бетона при твердении на открытой площадке полигона в условиях «парника», т.е. под прозрачной полиэтиленовой пленкой.

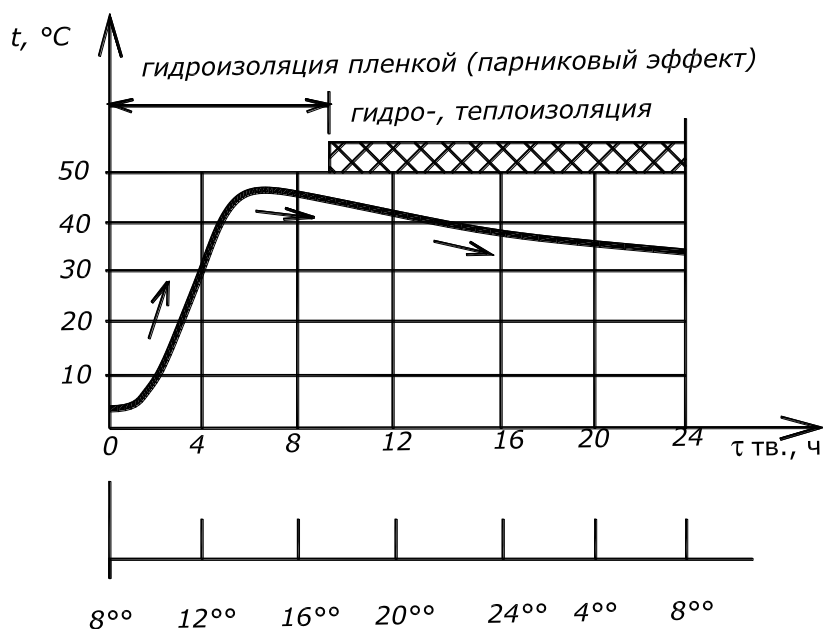


Рис.111. Тенденция изменений температуры бетона при твердении.

В этом производственном эксперименте тяжелый бетон класса С 20/25 (на портландцементе М500-Д0, 1-ой гр.), осадкой конуса 16...20 см (П4) укладывали в металлические формы плит забора (размеры в плане

3000x4000 мм, при толщине 60 мм) с уплотнением рейкой в процессе распределения и заглаживания бетона.

Время укладки бетона - 8⁰⁰ утра. Изменение температуры бетона фиксировалось датчиками – термопарами (хромель-копель). Из графика видно, что к наибольшему значению температура бетона «подошла» через ~ 6 ч, ко времени начала наибольшей солнечной активности, т.е. после 12⁰⁰ дня и затем медленно начала снижаться, по мере снижения солнечной активности.

На рис. 110 показан гипотетический (не осуществлен в эксперименте) вариант, при котором по моменту начала снижения солнечной активности (~ 16⁰⁰ дня; или заранее) поверхность дополнительно теплоизолируют. Это предотвратило бы потери тепла бетоном, температура снижалась бы медленнее, сохраняя более высокий темп роста прочности бетона. В проведенном производственном эксперименте через 24 ч твердения (т.е. к 8⁰⁰ следующего дня) прочность бетона с 1 % Na₂SO₄ от массы цемента составила 75...80 % от проектного значения. Формовка осуществлена в средние числа мая, наибольшая дневная температура составляла 19...20 °С, ночная ~ 9 °С.

Малоэнергоёмкая технология характеризуется наличием периода подъема до оптимальной температуры с разогревом бетона до 40...55 °С, а в дальнейшем требуемый режим твердения поддерживается благодаря экзотермии цемента при создании условий термостатической выдержки изделий расчетное время.

По существу – это метод «горячего» термоса и должны соблюдаться все ранее приведенные положения беспрогревной технологии применительно к используемым цементам, добавкам в бетон и техническому состоянию тепловых устройств, т.к. от этого зависит уровень температуры при термостатической выдержке изделий (без подвода тепла из вне).

На рисунке 112 графически (на основе обобщения производственных данных) отражена тенденция изменений температурного режима прогрева бетона по малоэнергоёмкой технологии (при разном времени (темпе подъема температуры среды в тепловом устройстве) и при традиционном режиме тепловой обработки).

Основные отличия от традиционного заключаются, во-первых, в более низкой температуре разогрева бетона, содержащего химические добавки ускорители твердения (или комплексные добавки с пластифицирующим и ускоряющим эффектами). Во-вторых, в сокращении времени подвода (а значит - и расхода) теплоносителя, за счет исключения изотермического прогрева бетона и его замены термостатической выдержкой изделий. В целом это позволяет за 14...18 ч твердения бетона с начальным разогревом достичь прочности на уровне 70...80% от проектной с затратами тепловой энергии ~ 125 000...250 000 кДж (0,03...0,06 Гкал) на 1 м³, что существенно ниже затрат на традиционную тепловую обработку.

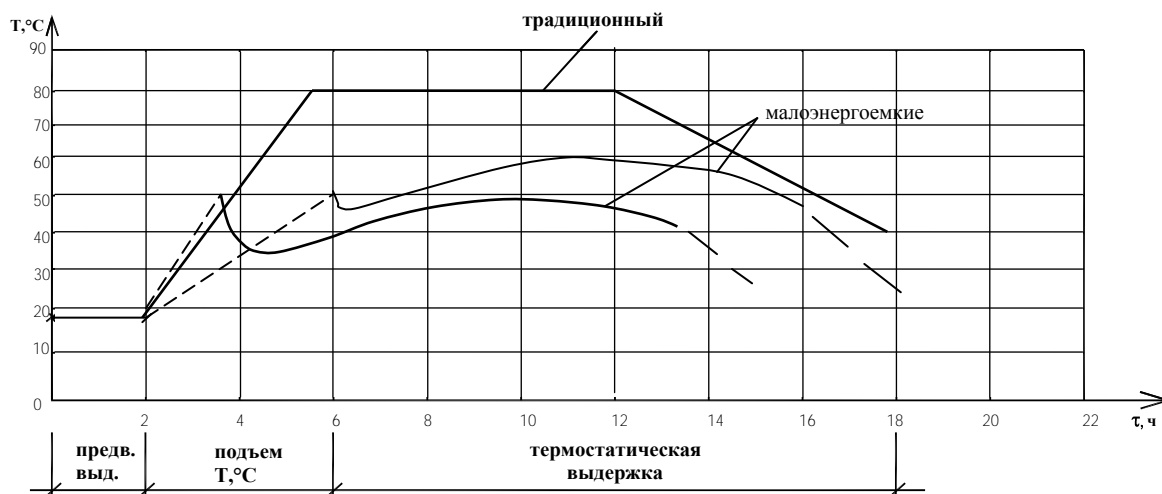


Рис. 112. Тенденция изменения температурного режима (температуры среды) прогрева бетона для традиционной и малоэнергоемкой технологии.

Сопоставление графиков для разных режимов подъема температуры среды в тепловых устройствах по малоэнергоемкой технологии показывает, что «форсированный» (за ~ 1,5 ч) подъем температуры (до 50 °С) сопровождается более глубоким ее снижением (≥ 15 °С) после прекращения подачи теплоносителя, меньшей температурой последующего разогрева бетона (и среды в камере) и более высоким темпом снижения температуры в дальнейшем.

Плавный подъем температуры за 4 ч подачи теплоносителя снижает инерцию (отставание) нагрева бетона и уменьшает (до 5...8 °С) температуры среды в камере после отключения подачи теплоносителя. Это обеспечивает условия для более активного тепловыделения цемента, саморазогрева бетона и среды до температуры, превышающей начальный уровень ее разогрева. Как следствие, создаются благоприятные условия для повышения темпа роста прочности бетона.

Рекомендуемые температуры разогрева бетона с добавкой ускорителя твердения в процессе подъема температуры зависят от эффективности вяжущего и составляют:

- до 40...45 °С для цементов 1-ой группы (маркировки «R»);
- до 50...55 °С для цементов 2-ой группы (маркировки «N»);
- до 65...70 °С для «ШПЦ», «ППЦ» и ПЦ 3-ей группы эффективности при пропаривании, которые не рекомендуются для малоэнергоемкой технологии из-за роста энергетических затрат.

Следует учитывать, что для цементов 1-ой группы эффективности при пропаривании (маркировка «R») одновременное действие эффекта от добавок ускорителей твердения (особенно при качественных добавках пластифицирующе-ускоряющего действия и со значительным снижением начального водосодержания бетона) и температуры проявляется в ускоренном развитии процесса гидратации. Как следствие, в повышенном темпе формируются и уплотняются реакционные каемки кристаллогидратных новообразований вокруг цементных «зерен-ядер». Превышение указанной ($\leq 45\text{ }^{\circ}\text{C}$) температуры твердения бетона приводит к раннему их уплотнению в такой степени, что затрудняется или прекращается доступ воды к поверхности непрореагировавшего вяжущего. Гидратационный процесс усложняется, реакционные каемки замедляют развитие, что отражается в замедлении, а то и прекращении роста прочности бетона (рис. 113)

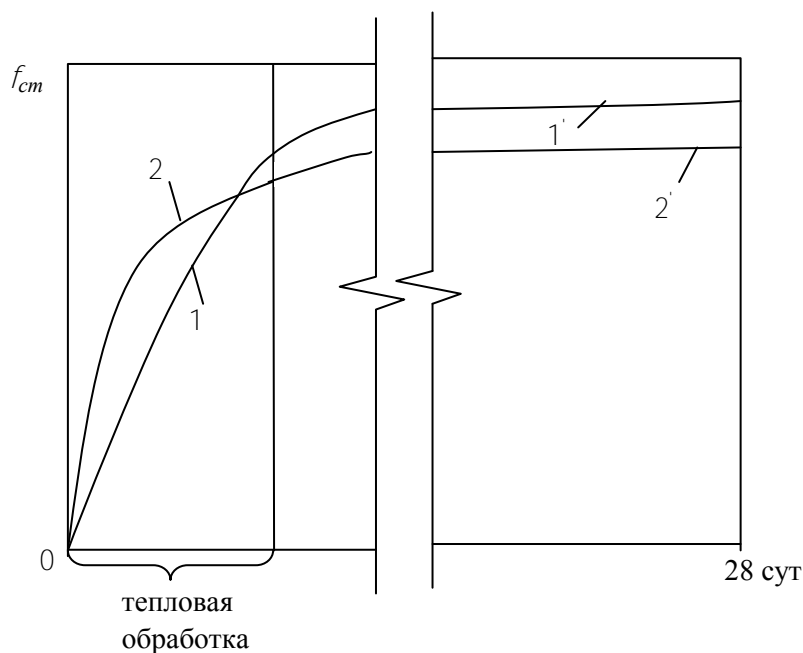


Рис. 113. Тенденция изменений прочности бетона на высокоактивном цементе при превышении оптимальной температуры начального разогрева.

Чрезвычайно высокий темп роста прочности в ранний период (график 2, температура разогрева $> 45...50\text{ }^{\circ}\text{C}$) может сопровождаться «недобором» ее уже после тепловой обработки и снижением к проектному возрасту (график 1, температура разогрева $\leq 45\text{ }^{\circ}\text{C}$) бетона. Как указывалось, ранее (см. раздел изотермического прогрева) эта закономерность проявляется и при традиционных режимах тепловой обработки бетона, в случаях превышения над рации-

ональными величинами температуры его прогрева и продолжительности изотермии.

Для энергосберегающих технологий *рекомендуемое время* подъема температуры связано с ее требуемым уровнем в общем случае составляет от 1,5 ч до 4,0 ч. Для конкретных условий ведения работ оно устанавливается лабораторией предприятия с учетом настоящих рекомендаций в зависимости от требуемой после прогрева прочности бетона, качества цемента, а также особенностей конструкции изделий (и форм), температуры окружающей среды (для летнего или зимнего периодов работ) и температуры бетонной смеси на начало разогрева. При этом рационально (с позиций как обеспечения благоприятных условий твердения бетона, так и по затратам тепловой энергии и времени на ускоренное твердение) в летний период работ разогревать бетон за 2...3 ч и в зимний – за 3...4 ч.

Допускается нагрев летом за 1...2 ч и зимой за 1,5...2,5 ч. Во всех случаях допускается предварительная выдержка не менее 0,5 ч при рекомендуемой 1...2 ч, если в бетон не вводили воздухововлекающие добавки (особенно, с гидрофобизирующим эффектом). При их использовании время выдержки назначается опытным путем лабораторией предприятия.

Форсированные режимы малоэнергоёмкой технологии прогрева бетона получили производственное подтверждение эффективности при изготовлении ряда железобетонных изделий (утяжелителей-пригрузов, плит пустотного настила и др.), которые по производственной необходимости изготавливали с 2-х кратным оборотом форм в пределах 1-2 рабочих смен.

В этих случаях температура нагрева среды достигала 70...75 °С при времени нагрева ~ 3 ч. Прочность бетона для бездефектной распалубки изделий с ненапрягаемой арматурой (≥ 50 % от проектной) и распалубка обеспечивалась за 5...6 ч твердения; передаточная прочность бетона с преднапряжением арматуры и распалубка – через 8...10 ч, при тепловой обработке (нагрев – термостатирование) в ямных камерах.

8.5 Особенности контроля прочности бетона при низкотемпературной тепловой обработке.

С позиций формирования структуры бетона все виды тепловой интенсификации процесса твердения цемента форсируют ее становление и влияют на объем и размеры пор. Как уже отмечалось, наиболее благоприятны для бетона водные условия твердения, а также нормально-влажностные ($t \sim 20 \pm 3$ °С; $\phi \geq 90$ %), которые приняты как базовые в нормативах, действующих на территории Беларуси и стран СНГ.

Поскольку прочность бетона (здесь мы рассматриваем прочность на сжатие, но это относится ко всем прочностным характеристикам: осевому растяжению, растяжению при изгибе, скалыванию, срезу, кручению) непосред-

ственно зависит от его пористости, то есть ее увеличение (рост количества концентраторов напряжений) сопровождается снижением прочностных характеристик бетона.

В этой связи, чем жестче режим тепловой обработки (недостаточная по продолжительности предварительная выдержка, ускоренный подъем температуры, высокая температура изотермического прогрева, резкое охлаждение) бетона, тем значительнее объем, сечения, длина пор и больше объем капиллярных пор в общей пористости бетона. Как следствие, прочность прогретого (пропаренного) бетона в процессе последующего дозревания даже в благоприятных нормально-влажностных условиях до проектного 28 сут. возраста не во всех случаях достигает прочности образцов-аналогов, твердевших это время в нормально-влажностных условиях (и тем более – в воде).

Поэтому, а также с учетом снижения расхода энергетических затрат на ускорение твердения бетона, все более широкое применение в производстве сборных бетонных и железобетонных изделий находят энергосберегающие технологии (при круглогодичном использовании) и беспрогревные (для летнего периода работ). Их особенность, важная как с позиций формирования структуры, так и оценки прочности бетона, заключается в низкотемпературном начальном его разогреве.

Во-первых, разогрев бетона (до 40...45 °С для высокоэффективных цементах и до 50...55 °С для рядовых) дает толчок развитию реакций цемента с водой, но не форсирует их. Как следствие, после 14...16 ч тепловой обработки в варианте термостатической выдержки бетон продолжает набирать прочность и в дальнейшем. Установлено, что совокупное действие введенных в состав бетона химических добавок (ускорителей или пластифицирующе-ускоряющего действия), низкотемпературного разогрева и последующего твердения, обеспечивает к 28 суткам «дозревания» бетона соответствие (и даже превышение) его прочности, над прочностью образцов-аналогов, приготовленных из одинакового состава (но без химических добавок) и твердевших в нормально-влажностных условиях (т.е. по действующим нормативам).

Второе важное следствие низкотемпературных режимов твердения бетона заключается в особенностях неразрушающего контроля его прочности после тепловой обработки и последующие 2-3 сут. Выявлено, что приборы контроля по методам пластических деформаций (молоток Кашкарова и «эталонный»), упругого отскока (склерометр «Шмидта» и др.), резонансные (склерометры типа «ОНИКС» и т.п.) существенно занижают (до 30...40 %) показатель прочности бетона, относительно фактической, установленной на образцах по стандартной методике разрушающим методом.

Эта разница меньше (до 15...20 %) при определении прочности ультразвуковыми приборами. Наиболее точное определение прочности обеспечивает метод вырыва со скалыванием, но он трудоемок и не всегда применим.

Причина снижения показаний приборов заключается в том, что при низкотемпературных прогревах с термостатированием бетона (в отличие от прогрева при $t \sim 80...85$ °С) смазка, нанесенная на формы, не испаряется, а впитывается в пристенный слой цементного камня. Указывалось (см. п. 8.1), что в его объеме (и объеме бетона в целом) в процессе твердения появляется разрежение (вакуум) и гидрофобные вещества смазок, впитываясь в контактный слой, замедляют процесс твердения цементного камня, снижают его твердость, упругость, плотность и прочность.

А приборы неразрушающего контроля прочности бетона «оценивают» ее по взаимосвязи с характеристиками наружного слоя: для метода пластических деформаций – с твердостью; отскока – с упругостью; резонансные – с сочетанием этих параметров; ультразвуковые – с плотностью (пористостью). Естественно, что снижение этих характеристик сопровождается снижением показаний соответствующих приборов. Для верной оценки прочности бетона изделий после низкотемпературного прогрева предварительно необходимо строить графические тарировочные зависимости в осях: прочность фактическая (установленная по действующим нормативам разрушающим методом) и прочность, определенная тарлируемым прибором (согласно правил работы с ним). В соответствии с действующими нормативами и изложенным в них методикам прочность бетона определяют вначале неразрушающим методом, а затем разрушающим методом на одних и тех же образцах серий, изготовленных в установленном нормативном количестве из бетона конкретного состава, по конкретной технологии и режиму твердения бетона контролируемых изделий.

9 ТЕХНОЛОГИЯ ЗАВОДСКОЙ ОТДЕЛКИ, ДОВОДКИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ.

9.1 Понятие первичной и вторичной отделки, требования к качеству поверхности.

Первичную отделку поверхностей бетонных и железобетонных изделий осуществляют в процессе их изготовления, т.е. при формировании бетона. Способы, приемы и техническое оснащение для ее реализации соответствуют варианту изготовления и виду изделия. Наиболее сложные и трудоемкие приемы первичной отделки относятся к изготовлению наружных стеновых панелей жилых и общественных зданий, т.к. для них требуется качественная отделка как наружных (фасадных) поверхностей, так и подготовка под отделку внутренних. Применительно к этим изделиям (а также иным, первичная отделка которых реализуется аналогично) различают варианты отделки при формировании изделий «лицом вниз» или «лицом вверх», в зависимости от того, как ориентирована фасадная (для иных изделий - отделяваемая) поверхность формируемых изделий.

Вторичную отделку поверхностей изделий осуществляют после твердения бетона и их распалубки рассмотренными далее основными приемами.

Если первичную и вторичную отделку рассматривать с позиции долговечности, то более долговечна первичная отделка. Особенно, если она представляет собой приданные специальными матрицами или формой специфические объемные конфигурационные очертания, отделку оголенным декоративным заполнителем либо декоративным бетоном и т.п.

Требования к качеству поверхностей и внешнему виду конструкций здесь приведены в соответствии с положениями действующей нормативно-технической документации (ГОСТ 13015). Бетонные поверхности конструкций подразделяются на категории А1-А7. При этом размеры раковин, метных наплывов и впадин на бетонной поверхности и околос бетонных ребер конструкций не должны превышать значений, указанных в табл. 11, в которой отраже-

Таблица 10. Характеристики категорий (размеры даны в миллиметрах)

Категория бетонной поверхности изделия	Диаметр или наибольший размер раковины	Высота местного наплыва (выступа) или глубина впадины	Глубина окола бетона на ребре или на поверхности изделия	Суммарная длина околос бетона, измеряемая на 1 м ребра
А1	Глянцевая (по эталону)		2	20
А2	1	1	5	50
А3	4	2	5	50
А4	10	1	5	50
А5	Не регламентируется		10	100
А6	15	3	10	100
А7	20	5	20	Не регламентируется

но предназначение поверхностей разных категорий качества и способы их получения.

Таблица 11. Область применения и основной способ получения.

Категория бетонной поверхности изделия	Область применения	Основной способ получения поверхности	
		примыкающей к форме при формовании изделия	открытой при формовании изделия
1	2	3	4
A1	Глянцевая поверхность, не требующая отделочного покрытия на строительной площадке	Формование изделий в формах со стеклопластиковой или другой глянцевой поверхностью, а также в обычных формах с использованием парафинов и других восковых композиций, эмульсионных смазок на их основе	-
A2	Поверхность, подготовленная под улучшенную окраску (без шпатлевания на строительной площадке) или высококачественную окраску (с одним слоем шпатлевки на строительной площадке)	Формование в горизонтальном положении с использованием качественных эмульсионных смазок и, при необходимости, методом водной пластификации. Формование в горизонтальном или вертикальном положении с последующим механизированным шпатлеванием всей поверхности на предприятии	-
A3	Поверхность, подготовленная под декоративную отделку пастообразными составами (без шпатлевания на строительной площадке); под улучшенную или высококачественную окраску (соответственно с одним или двумя слоями шпатлевки на строительной площадке); под оклейку обоями	Формование в горизонтальном положении, а также в вертикальном положении с последующим механизированным шпатлеванием части поверхности на предприятии	Формование в горизонтальном положении с заглаживанием поверхностей специализированными машинами

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4
A4	Поверхность, подготовленная под оклейку обоями, линолеумом и другими рулонными материалами; под облицовку плиточными материалами на клею	Формование в горизонтальном или вертикальном положении	Формование в горизонтальном положении с заглаживанием поверхностей специализированными машинами
A5	Поверхность, подготовленная под облицовку плиточными материалами на растворе	То же	Формование с последующим заглаживанием поверхности
A6	Поверхность, подготовленная под простую окраску, а также неотделяемая поверхность, к которой не предъявляют требования по качеству	"	То же
A7	Поверхность, невидимая в условиях эксплуатации	"	Формование с выравниванием поверхности в процессе вибрирования

9.2 Отделка «лицом вниз» - основные способы и технология выполнения работ.

Отделка ковровой керамической плиткой - широко распространенный вариант отделки, который предполагает использование разнообразных по цветовой гамме и размерам керамических плиток, производственно заготовленных в виде своеобразного «ковра». Основой его является легкоудаляемый материал (бумажный носитель), на которые лицевой (глазурированной) стороной наклеены керамические плитки. Технология работ включает укладку ковра в соответствии с требуемым рисунком на поддон формы его основой вниз. Затем в расчетном количестве распределяют по всей поверхности слой мелкозернистого (цементно-песчаного) бетона (обязательно, как внешний слой с защитными функциями, если изделие формируют из легкого бетона) или, возможно, расчетный слой тяжелого бетона при формировании многослойных изделий с утеплителем.

Далее выполняют весь набор технологических операций, относящихся к изготовлению данного вида изделия, включая твердение (тепловую обработку) бетона.

После распалубки изделия подают на пост (участок) очистки-мойки основы ковровой плитки, где ею удаляют (смачивание, роликовые (или иные) щетки, смыв), изделия осушивают сжатым воздухом и подают на конвейер (посты) последующей доводки до заданного уровня заводской готовности и выдержки (перед приемкой и сдачей на склад готовой продукции).

Рельефная отделка выполняется с приданием поверхности изделия объемного рисунка за счет соответствующего рельефа днища форм. Широкое разнообразие рисунка обеспечивает использование съемных вкладышей - матриц. Выполненные из современных износостойчивых пластиков они обеспечивают качественную поверхность формуемого бетона без использования смазки, что способствует повышению качества сцепления с материалом вторичной отделки (например, покраской), если она практикуется.

Технология работ при рельефной отделке изделий, формуемых из тяжелого бетона не требует дополнительных операций. В случае изготовления изделий из легкого бетона, в начале распределяют и формируют подстилающий (защитный) слой из мелкозернистого (цементно-песчаного) бетона.

Рельефную отделку в наибольшей мере практикуют при изготовлении плит ограждения балконов и лоджий, парапетных ограждающих конструкций, архитектурно-выразительных отделочных элементов зданий и т.п. Достаточно часто ее используют в сочетании с применением декоративных бетонов и вторичной отделки окрашиванием.

Отделка цветными декоративными бетонами (мелкозернистыми и с крупным заполнителем) основывается на использовании для их приготовления белого и цветных цементов. Для получения темной цветной гаммы (например, черный и коричневый цвета) можно использовать традиционный портландцемент.

При объемном окрашивании изделий их изготавливают как однослойные, формируя соответствующий цветной бетон. С целью снижения затрат и экономии красителя и белого цемента ряд декоративных изделий (например, тротуарных и иных плит и др.) формируют в два слоя, с фактурным цветным и основой из бетона на обычном портландцементе.

В качестве красителей (пигментов) для окрашивания бетона применяют высокодисперсные порошковые, нерастворимые в воде затворения, светостойкие и щелочестойкие неорганические (природные или синтетические) и органические щелочестойкие фталоцианиновые вещества, основные виды которых приведены в таблице 12, приведенной по СТБ 1071.

Следует отметить, что органические пигменты характеризуются высокой насыщенностью цвета окрашивания бетона, но, одновременно, могут существенно снизить его морозостойкость. Этот же отрицательный эффект проявляет чёрный пигмент, особенно в дозировке ≥ 3 % от массы цемента.

Таблица 12. Данные о пигментах.

Наименование пигмента	Обозначение ТНПА	Цвет поверхности
Сурик железный	ГОСТ 8135	Красно-коричневый
Пигмент желтый железокислый	ГОСТ 18172	Желтый
Окись хрома	ГОСТ 2912	Зеленый
Углерод технический (сажа)	ГОСТ 7885	Черный
Лазурь железная	ГОСТ 21121	Голубой
Фталоцианиновый	ГОСТ 6220	Голубой
<p>Примечания</p> <p>1 Рекомендуемый верхний предел применения неорганических пигментов – 5 %, фталоцианиновых пигментов – 0,5 % от массы цемента. При содержании пигментов более 5 % от массы цемента должны быть проведены испытания на морозостойкость.</p> <p>2 Для получения цветной поверхности могут применяться другие, не указанные в таблице, пигменты, удовлетворяющие требования ТНПА и разрешенные к применению при производстве строительных работ в установленном порядке.</p> <p>3 Плиты белого цвета изготавливают на цементе по ГОСТ 965 или другом вяжущем, разрешенном к применению при производстве строительных работ в установленном порядке.</p>		

Особенностью приготовления цветных бетонных смесей является рекомендуемая последовательность загрузки материалов в смеситель: в начале - заполнитель(ли), за ним(ми) пигмент, а затем цемент, вода (растворы химических добавок). Зерна заполнителя(ей) при перемешивании с пигментом (предпочтительна его подача с распределением по площади смесителя) служат «мельющими» телами, способствующими его равномерному распределению в объеме приготавливаемого бетона и, соответственно, равномерному его окрашиванию.

Технология формирования цветного бетона в один слой соответствует традиционной; при 2-х слойном формировании изделий обычно цветной слой (более тонкий, в сравнении с основным) укладывают поверх основного и одновременно уплотняют (например, вибропрессованием).

В ряде случаев (например, при фильтрационной прессовании с отжатием части воды затворения из водозатворенного нижнего (цветного) слоя бетона во второй слой из сухой смеси; см. п. 7.4) цветной пластичный бетон укладывают в форму (или форму-матрицу при прессовании) в начале, а затем бетон основного слоя из сухой смеси.

Отделка оголением декоративного заполнителя, в качестве которого используют крупнофракционный гравий или щебень (в последнем случае - на фоне цементного камня, отличающегося от щебня цветом), основывается на явлении вакуума в твердеющем цементном камне.

Для ее реализации на днище формы (по всей поверхности или частично, например, полосой требуемой ширины вокруг оконных проемов) укладывают поризованный материал (ворсанит, картон и т.п.), пропитанный раствором замедлителей схватывания и твердения цемента. В этом качестве используют лигносульфонаты технические, сахарную или кормовую патоку, козеиновый

клея и др. Раствор этих веществ, проникая в контактный слой бетона, замедляет твердение цементного камня на расчетную глубину, и он легко счищается механически с отделяемой поверхности. Эту операцию выполняет после твердения (тепловой обработки) бетона и распалубки изделий на специализированных постах (участках) по аналогии с вариантом отделки ковровой плиткой. В ряде случаев - без водной обработки поверхности, ограничиваясь механической (щетками) очисткой и продувкой сжатым воздухом.

Отделка (подготовка) потолочной поверхности плит железобетонных преднапряженных пустотного настила, изготавливаемых с частичной немедленной распалубка на поддон (или в формах) по агрегатно-поточной и конвейерной технологиям.

Проблема качества нижней поверхности этих плит, которые образуют потолочную поверхность помещений, проявляется по следующим причинам. Во-первых, составы бетона для их изготовления характеризуется малым расходом цемента, составляющим 250...300 кг на 1 м³ бетона и, как следствие, минимально необходимым объемом цементного теста в формуемом бетоне. Во-вторых, с целью обеспечения сохранности геометрических размеров изделий при извлечении пустотообразователей и съеме бортооснастки при частичной распалубке, формуют жесткие бетонные смеси (традиционно марок Ж2, Ж3). В-третьих, в стремлении повышения производительности технологических линий и увеличения объема продукции в ускоренном темпе и с превышением рациональных объемов подают бетонную смесь при формировании изделий. Нельзя исключать и несоответствия интенсивности уплотнения бетона уровню консистенции (жесткости) формуемых смесей из-за недостаточной эффективности применяемого оборудования (см.п. 7.3).

С целью обеспечения требуемого качества поверхностей используются следующие технологические приемы.

В частности, перед подачей бетона основного состава из жесткой бетонной смеси устраивают тонкий подстилающий слой либо из цементного «молока» или из его смеси с тонкодисперсным песком, либо из цементно-песчаного раствора литевой консистенции. В этих случаях организует приготовление «подстилающих» составов непосредственно у поста формирования в небольших объемах (на 1-2 формуемых изделия) и операция по устройству подстилающего слоя выполняется как начальная фаза формирования каждого изделия, с использованием виброплощадки для его равномерного распределения.

Также эффективен вариант, при котором первый подстилающий слой устраивают из пластичной бетонной смеси основного состава, но с введением качественного (рекомендуется - 1-ой группы) пластификатора, а затем формуют бетон основного состава из жесткой бетонной смеси. Такой вариант логично вписывается в конвейерную технологию изготовления плит пустотного

настила (и, при необходимости, других «плитных» изделий) с разделением процесса формирования бетона на 2-х постах.

Наиболее распространен (т.к. прост в реализации) вариант частичного доувложения дополнительным смачивания подстилающего слоя бетона путем эжекции (распыление под давлением) воды или водного раствора пластификатора. При этом необходим постоянный контроль за осуществлением этого процесса во взаимосвязи с контролем консистенции смеси и прочности бетона, с учетом некоторого повышение его водоцементного отношения.

Во всех случаях качество потолочной поверхности формируемых плашмя плитных изделий непосредственно зависит от интенсивности вибрационного воздействия на бетон. Ее уровень должен обеспечивать проявление эффекта тиксотропного разжижения как в пристенном (нижнем, подстилающем) слое бетона, так и во всем его объеме в процессе формирования изделий.

9.3 Отделка «лицом вверх» - основные способы и технология выполнения работ.

Первичную отделку при изготовлении бетонных и железобетонных изделий осуществляет по свежееотформованному бетону в следующих, наиболее широко практикуемых вариантах.

Отделка декоративным заполнителем осуществляется путем равномерного распределения крупной фракции материала по отделяемой поверхности с последующим «втапливанием» его зерен в слой тяжелого бетона, либо в слой мелкозернистого (цементно-песчаного) бетона, если изделие изготавливают из легкого бетона.

«Втапливание» на расчетную глубину (что обеспечивает фиксацию зерен отделочного материала в бетонной основе после его твердения) осуществляет либо прикаткой валами, либо пригрузами. Для этого вертикальное перемещение нижней (рабочей) поверхности этих устройств в процессе «втапливания» ограничивается, обеспечивая зазор с отделяемой поверхностью и, таким образом, создавая ровный слой выступающего из бетонного массива декоративного заполнителя.

Удаление с поверхности затвердевшего бетона и сбор незафиксировавшихся излишков декоративного заполнителя осуществляется либо на посту распалубки (если ее осуществляют кантованием и съемом изделий в вертикальном положении), либо на специализированном посту при распалубке их в горизонтальном положении. Для этого поверхность могут подвергать обработке мягкими (синтетическими) щетками-валами или иными подобным инструментом.

Отделка набрызгом или отделка «под шубу» с использованием водозатворенных смесей из мелкозернистого (цементного) бетона выполняется по поверхности схватившегося бетона. То есть, после исчезновения капельной

влаги на отделываемой поверхности. В состав отделочного бетона (на обычном, либо белом, либо цветном цементе) вводят и декоративные заполнители, включая стеклянный бой, слюду и пр.

По свежееотформованному бетону (т.е. с наличием жидкой фазы на отделываемой поверхности) реализуется вариант отделки с равномерным нанесением отделочного слоя из сухой смеси вяжущего, заполнителей (включая декоративный), наполнителей и химических добавок (ускорителей твердения, уплотняющих структуру бетона). Отделываемую поверхность затирают с помощью дисковых заглаживающих машин, одновременно обеспечивая повышение плотности, непроницаемости и устойчивости бетона к воздействию эксплуатационной среды.

Образование рельефа - вариант отделки формированием объемного рисунка с помощью накатки валами с рельефной поверхностью или вдавливанием рельефных матриц. Для четкой фиксации рисунка на поверхности отделываемого слоя (во всех случаях - из мелкозернистого бетона на рядовом, белом или цветном цементе; на рядовом песке или декоративном заполнителе крупностью до 5...6 мм) изделия к моменту нанесения рельефа не должно быть «капельножидкой» влаги. То есть, после формирования отделочного слоя бетона необходима выдержка, время которой зависит и определяется для конкретных условий ведения работ, до «матовой» (без блеска водной пленки) поверхности бетона. Это необходимое условие для предотвращения налипания смеси на рифление валов (матриц) и для качественного нанесения рисунка на отделываемую поверхность.

9.4 Вторичная отделка поверхности.

Вторичную отделку поверхности бетонных и железобетонных изделий в современных условиях строительства в большей степени осуществляют на строительной площадке (в построечных условиях). При производственной необходимости (в зависимости от требуемого по действующим нормативам (проектной документации) на изделие или по договоренности с заказчиком (потребителем) уровня заводской готовности) ее осуществляют на заводе-изготовителе.

Наиболее распространёнными вариантами вторичной отделки бетонных поверхностей являются: *окрашивание; оштукатуривание и облицовка* искусственными и природными (каменными) материалами (изделиями). В зависимости от вида отделки, и его функционального предназначения (отсутствия или наличия дополнительных функций: паро-, гидроизоляции; звукоизоляции; огнезащиты и др., кроме декоративной) и условий последующей эксплуатации подбирают материалы для ее осуществления (устройства). Технология ведения работ при окраске, оштукатуривании и облицовке бетонных поверхностей здесь не рассматривается, т.к. она является предметом соответ-

ствующих нормативов, рекомендаций и указаний. Необходимо отметить, что у каждого из этих вариантов отделки (и их разновидностей) есть рациональная область применения (предназначения). При этом достаточно широко применяется сочетание оштукатуривания (как фактурной подготовки поверхности) с последующей покраской отделываемых поверхностей (как в качестве декора, так и с приданием дополнительных функций, например, влагозащиты).

В меньшей степени распространены такие варианты вторичной отделки бетонных поверхностей как *металлизация, глазурирование, плазменная обработка, нарезка и насечка рельефа, шлифование* и др.

Металлизация, как способ отделки бетонной поверхности, включает ее предварительную сушку с целью обезвоживания контактного слоя и повышение качества сцепления с отделочным слоем из наносимого металла (алюминия или цинка). Расплавленный металл с помощью специального устройства напыляется сжатым воздухом в виде мельчайших частиц на отделываемую поверхность. За счет малого размера и силы удара частицы металла проникают в неровности, а частично - и в поры бетонной поверхности, постепенно образуют сплошную пленку из используемого металла. Естественно, что такая отделка специфична и используются по особому назначению в качестве декора или с защитными функциями.

Глазурирование при отделке наружных поверхностей (с созданием атмосферостойчивого покрытия) осуществляют обжигом при температуре 850...950 °С нанесенного на отделываемую поверхность керамического глазурированного шликера. Известен вариант глазурирования обжигом при температуре 700...900 °С нанесенного на поверхность (из расчета ~ 200 г/м²) и предварительно высушенного слоя жидкого стекла.

Отделка глазурью (на водной или иной основе) внутренних поверхностей осуществляется специфической окраской их (валиками, кистью и т.п.) с приданием системного или фантазийного объемного (рельефного) рисунка и требует сушки в естественных воздушно-сухих условиях.

Плазменная обработка с оплавлением бетонной поверхности не получила широкого развития. Во-первых, образующаяся при оплавлении «радужная» (разноцветная) окраска поверхности неупорядочена, а формирующаяся при этом структура подвержена трещинообразованию, особенно при неуправляемом режиме охлаждения от температуры «холодной» плазмы ($t \sim 2000...3000$ °С). Во-вторых, даже при медленном охлаждении между оплавленным слоем и основой (т.е. основным слоем бетона) создается напряженное состояние. При циклических атмосферных воздействиях (охлаждение-нагрев даже в пределах суток; замораживания-оттаивания в зимний период; увлажнения-высушивания и др.) это приводит к трещинообразованию

в контактном слое и отслоению «отделочного» слоя. Кроме отмеченного, высека энергозатратность способа.

Нарезка и насечка рельефа в условиях заводского производства крупногабаритных изделий развития не получили. Эти приемы отделки поверхности в большей степени относятся к изготовлению облицовочных изделий из природного камня. При нарезке рельефа бетонных изделий отделываемый таким образом слой должен быть выполнен из мелкозернистого бетона. Вариант отделки насечкой (выполняется специальным «ударным» инструментарием) может реализовываться по мелкозернистому и с крупным заполнителем тяжелому бетону, создавая фактуру «колотого» бетона.

Более распространенный вариант такой отделки характерен для производства мелкоштучных бетонных стеновых блоков - при «вскрытии» фактуры бетона методом скола одной (или нескольких) внешних поверхностей изделий.

Шлифование, как приём отделки поверхности бетона, в основном применяют при изготовлении разного рода плит (для полов, облицовочных и др.), а также лестничных проступей и площадок и т.п. изделий. Преимущественно их изготавливают преследуя цель вскрыть при шлифовании декор от различия цветовой гаммы между заполнителем и цементным камнем (растворной составляющей) бетона. Соответственно применяют декоративный заполнитель (чаще - мрамор разных цветов) и белый или цветной (реже обычный) цемент. Кроме этого, шлифование способствует уплотнению структуры поверхности обрабатываемого бетона, снижению степени его шероховатости и, тем самым, повышает его эксплуатационную надежность.

9.5 Понятие заводской готовности и доводка изделий.

В общем случае «заводская готовность» - это совокупность требований, предъявляемых к конкретному изделию (или виду изделий) при отпуске его (их) потребителю. В это понятие входят уровень отпускной прочности и другие требования, предъявляемые проектной (или нормативной) документацией на изделия, а также договорными условиями между производителем и заказчиком (при наличии). В этой связи степень заводской готовности может быть разной для одного и того же вида продукции, особенно с учетом договорных условий между заказчиком (потребителем) и производителем.

Например, при изготовлении наружных стеновых панелей зданий крупнопанельного домостроения она может быть максимальной и включать весь объем отделочных работ (кроме финишных - оклейка обоями или чистовая покраска внутренних стен, столярки), установку и остекление оконных (дверных) проемов, в частности, в зимний период, с целью обеспечения условий для обогрева строящегося здания и ведения в нем работ в процессе монтажа. Но может быть (в частности, по договору с заказчиком) и мини-

мально необходимой - обеспечивать возможность монтажа, с выполнением всех работ по начинке и отделке в построечных условиях.

В целом, наибольший объем работ по доводке и высокая степень заводской готовности присущи изделиям жилищного и общественного строительства. В частности, при наличии отделываемых поверхностей - внутренних стен (перегородок) и потолочных, обрамлений оконных и дверных проемов, открытых колонн и т.д. Эти поверхности зачастую требуют доводки в виде шпатлевания, заделки дефектов (пор) с целью обеспечения качества поверхности в соответствии с требуемой категорией (см. табл. 10, 11). Для выполнения этих работ в заводских условиях предусматривают специализированные посты, а при изготовлении наружных стеновых панелей - специализированные технологические линии доводки. В последнем случае - это конвейерные линии (подвесные, опорно-рольганговые или с опорными тележками), на которых операции по доводке изделий до заводской готовности выполняются на отдельных постах, в соответствии с установленной технологической последовательностью. Ритм работы конвейера отделочных операций должен быть синхронизирован с ритмом работы основного конвейера, не превышать его. Время нахождения изделия на отделочном конвейере включается в расчетное время выдержки их в цеху после тепловой обработки в зимний период, что позволяет уменьшить площадь поста выдержки или исключить его полностью.

Набор операций по подготовке изделий зависит от их вида, требований к ним по уровню (степени) заводской готовности. Например, для преднапряженных железобетонных виброгидропрессованных труб обязательным является расточка (шлифовка) внутренней полости раструба, как последний элемент их доводки перед испытаниями. Наиболее часто при доводке бетонных и железобетонных изделий выполняют следующие операции.

Шпатлевание подготавливаемых под чистовую отделку поверхностей изделий, которое осуществляют механизированно (с использованием затирочных машин реечного типа или дисковых), а также вручную с использованием ручных инструментов (шпателей, скребков) и средств малой механизации, в виде дискового затирочного инструментария.

В изделиях с преднапрягаемой арматурой необходимо дополнительно обрабатывать и защищать антикоррозионными составами выходы арматурных элементов на поверхность бетона.

При наличии в изделии каналов (штраб) скрытой электропроводки осуществляет оценку проходимости каналов и обрабатывают (при необходимости) места их выхода на поверхность, т.е. места установки в последующем выключателей, розеток и пр.

В большинстве сборных изделий имеются закладные детали или фиксаторы и требуется их очистка, в отдельных случаях - дополнительная антикоррозионная защита.

В ряде случаев требуется дополнительная обработка бетона. Например, при изготовлении железобетонных напорных труб для водоводов бетон должен быть «чистым», т.е. в естественном состоянии. В случае их использования для устройства технических жидкостных трубопроводов для транспортирования агрессивных жидкостей (в химических производствах, обслуживании животноводческих комплексов, перекачивании разнообразных стоков и пр.) бетон труб дополнительно обрабатывают (пропитывают) защитными составами. В частности, путем выдержки в ванной с подогретым петролатумом или иными мономерами и гидрофобами. Проникая в поры бетона эти вещества обеспечивают бетону высокую непроницаемость, а на этом основании - эксплуатационную надежность и долговечность.

Доводка сборных объемных изделий - санитарно-технических кабин, блок-комнат, по сути представляет отдельный этап их изготовления (рис. 114; 115) на специализированных линиях. Для сантехкабин (рис. 114) это стендовые линии (посты), на которых работают в последовательности: поддон → колпак → сборка → доводка (отделка) → приемка → на склад готовой продукции.

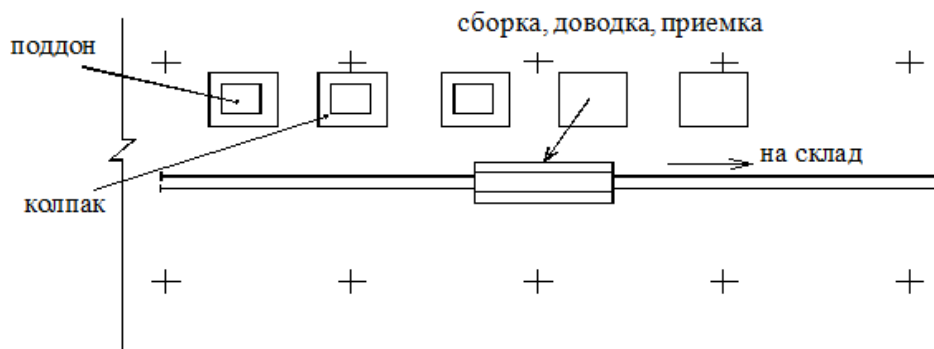


Рис. 114. Принципиальная схема станочной линии сборки (доводки) сантехкабин.

Объемные блок-комнаты (по одному из вариантов их изготовления) собирают из отдельно изготавливаемых плит пола (с функцией несущих конструкций перекрытия) и «колпака», включающего внутренние и наружную стену, изготавливаемые совместно с его потолочной плитой, по схеме рис. 115.

В этом случае работы по сборке-доводке блок-комната производят на конвейерной линии, расположенной в отдельном пролете и работающей в последовательности: плита пола-перекрытия → сборка с «колпаком» → доводка → отделка → приемка → на склад готовой продукции.

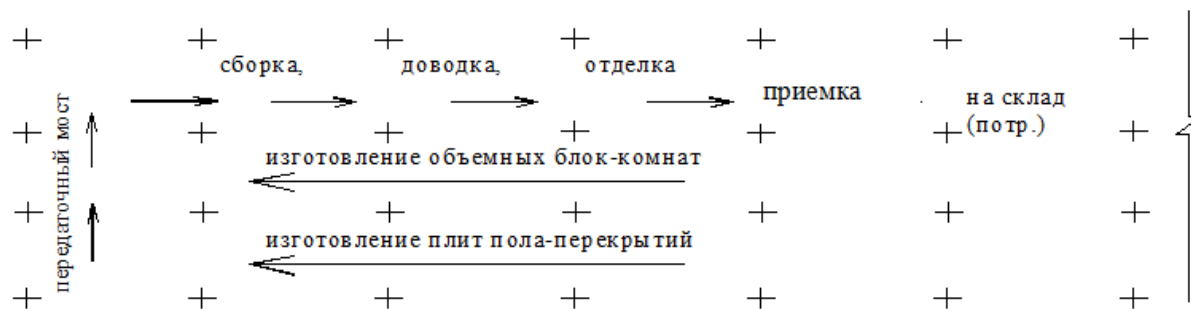


Рис. 115. Принципиальная схема сборки-доводки блок-комнат.

9.6 Контроль качества продукции.

Контроль качества продукции включает производственный контроль и контроль качества готовых изделий.

Производственный контроль качества основывается на фундаментальных положениях системы «ISO 9000...», заключающихся в том, что путем обеспечения некоего требуемого уровня качества материалов, режимов производственных процессов и выполняемых работ в их совокупности, создаются необходимые условия для обеспечения требуемого качества конечной продукции (в рассматриваемом случае – бетонных и железобетонных изделий).

Оперативный контроль их производства в общем случае включает:

- входной контроль материалов (цемента; заполнителей; химических и минеральных добавок (при применении); воды; арматуры (стальной и иных видов (при применении)));

- качество приготовления бетона (состав (рецептура) в соответствии с требуемым для конкретных условий; учет влажности заполнителей; точность дозирования; последовательность загрузки компонентов; качество растворов химдобавок; время перемешивания);

- характеристики бетонной смеси (формуемость (удобоукладываемость); однородность; температура (в основном для зимнего периода работ); водо-, раствооротделение и воздухововлечение (при необходимости));

- подготовку форм (бортоснастки) – качество поверхности и сборки, смазка;

- армирование (проектное расположение арматурных элементов и их соответствие проекту (по видам, диаметру, длине (размерам)); расчетный уровень напряжения преднапрягаемой арматуры; герметизация «выхо-

дов» из форм арматурных элементов; наличие и размещение закладных деталей, фиксаторов (при необходимости);

- формование изделий (подача и распределение бетонной смеси (по высоте и в плане изделия (формы) в соответствии с технологическим регламентом; интенсивность и продолжительность вибрирования (центрифугирования, прессования, вакуумирования и пр.); характеристики дополнительных воздействий – давление пригруза, прессования, степени разрежения и пр.; отделка поверхности (заглаживание; отделка заполнителем или др. способами); выполнение иных дополнительных операций – установка монтажных петель, фиксаторов, закладных деталей и пр.);

- твердение бетона (время предварительной выдержки; режима тепловой обработки (время этапов подъема температуры, изотермии, остывания; скорость подъема температуры и ее уровень; параметры влажности среды (особенно при «сухих» вариантах прогрева));

- контроль прочности бетона к моменту распалубки изделий с ненапрягаемой арматурой и передаточной, для преднапряженных изделий (по контрольным образцам бетона или неразрушающими методами).

Контроль качества изделий включает оперативный приемосдаточный контроль (может быть выборочным и сплошным), а также осуществляемый периодически, через установленные промежутки времени.

Выборочный приемосдаточный контроль осуществляют на требуемом объеме (выборке, количестве) конкретного вида изготавливаемых изделий, который определяется по действующей нормативно-технической документации (стандартам, техническим условиям, рабочей проектной документации) в зависимости от вида и объема производства этих изделий.

Сплошной приемосдаточный контроль осуществляют на всех изготавливаемых изделиях конкретного вида по установленным для них показателям. Например, для труб напорных обязательным является испытание на гидростендах на расчетное давление готовых изделий, изготавливаемых виброгидропрессованием и центрифугированием, а также металлических сердечников (после их изготовления) для напорных железобетонных труб с металлическим сердечником.

Эти виды приемосдаточного контроля осуществляют технологические службы предприятия-изготовителя - лаборатория предприятия и отдел технического контроля.

Периодический контроль осуществляется по установленным на конкретный вид изделия показателям в действующей нормативно-технической документации (стандартах, ТУ, проектной документации), где отражается периодичность испытаний и их виды (показатели). Дан-

ный вид контроля осуществляют посторонние уполномоченные органами госконтроля организации - аккредитованные и аттестованные соответствующим образом профильные научно-исследовательские лаборатории, центры, институты.

Приемо-сдаточному контролю подлежат следующие основные показатели:

- отпускная прочность бетона (на сжатие, а при необходимости - на изгиб и осевое растяжение) при гарантии требуемого класса бетона в проектном возрасте;
- качество (категория) поверхности (особенно в случаях последующей ее отделки);
- геометрические размеры (на соответствие допускам);
- наличие трещин (исключаются для изделий 1-ой категории по трещиностойкости; в остальных случаях по имеющимся ограничениям);
- плоскостность граней изделий (особенно потолочной поверхности плит перекрытий);
- цветовая гамма (при наличии требований);
- наличие, геометрическое расположение и фиксация напрягаемой арматуры бетоном (отсутствие «ухода» вглубь торцов арматурных элементов) и антикоррозионная обработка ее выходов на поверхность (для преднапряженных изделий);
- отпускная влажность и средняя плотность (для легких бетонов), а также ряд других показателей для конкретных видов изделий.

Периодическому контролю преимущественно подлежит ряд характеристик бетона:

- прочность на сжатие (изгиб, растяжение – по мере необходимости) на соответствие классу в проектном возрасте;
- водопоглощение (по массе или объему);
- водонепроницаемость (при наличии требований);
- морозостойкость (в среде – воде или растворе NaCl; при наличии требований);
- истираемость (при наличии требований);
- водо-, коррозионная стойкость (при наличии требований);
- теплопроводность; паро-, воздухопроницаемость и др. (при наличии требований), а также дополнительные характеристики (например, кавитационная устойчивость бетона изделий гидротехнического назначения или огнестойкость и термическая устойчивость бетона специального назначения) при их наличии.

Периодический контроль изделий осуществляется на установленной по НПД количественной выборке и по требуемым для данного вида показателям. Преимущественно контролю подлежат:

- трещиностойкость конструкций (образование, ширина раскрытия трещин под расчетной нагрузкой);
- несущая способность конструкций (вплоть до стадии разрушения);
- прогиб и его соотношение с прилагаемой нагрузкой (вплоть до потери устойчивости конструкции);
- поведение конструкций (колонн, стоек) при сжатии с эксцентриситетом (внецентренном сжатии);
- поведение конструкций при огневом воздействии и возможные другие показатели, зависящие от специфики вида изделия (конструкции) и условий ее эксплуатации.

Естественно, что приведенные и иные виды испытаний осуществляются на специализированных устройствах, постах, участках сторонних организаций, имеющих право (указано ранее) проводить такие испытания.

В ряде случаев предприятие-изготовитель обустраивает аналогичные испытательные участки у себя с целью оперативного контроля качества выпускаемых изделий. Но и в этом случае обязателен периодический сторонний контроль уполномоченными организациями.

10 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ И ОБЪЕМНО-БЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ.

10.1 Разновидности и изготовление объемных и объемно-блочных изделий.

Объемные и объемно-блочные бетонные и железобетонные изделия представляют собой достаточно широкую по номенклатуре, типоразмерам и конфигурации группу. Их изготавливают с использованием принципов конвейерной, агрегатно-поточной и стандовой технологий, а также их сочетаний.

Наиболее сложны в производстве крупногабаритные объемно-блочные (т.е., представляющие собой пространственно замкнутые) изделия (конструкции).

К объемно-блочным изделиям (конструкциям) относятся:

- блок-комнаты разных типов для объемно-блочного (или – модульного) домостроения (жилых, общественных и иного назначения зданий);
- санитарно-технические кабины для крупнопанельного домостроения и других видов строительства;
- иные объемно-блочные изделия специального назначения (например, смотровые блоки различных коммуникаций (электро-, телефонной связи и т.п.), которые изготавливают в стэнд-формах по принципу «колпак» (см. далее)), либо на агрегатно-поточных линиях в разъемных формах.

К объемным изделиям относятся:

- кольца или прямоугольного сечения элементы смотровых колодцев и иных элементов подземных (и надземных) коммуникационных сетей (их конструкций);
- кольцевого или прямоугольного сечения элементы элеваторов или хранилищ сыпучих и иных материалов;
- элементы шахт лифтов и подобных коммуникационных конструкций зданий различного назначения;
- вентиляционные блоки и шахты;
- многощелевые стеновые блоки, многопустотные железобетонные блоки стен подвалов и т.п. изделия);
- трубы различного назначения.

Изготовление блок-комнат для объемно-блочного домостроения.

Производство объемных элементов блок-комнат на поточных линиях организовано, как правило, на четырех основных постах: 1 — операции по очистке и смазке сердечника, установке арматурных каркасов, оконных и дверных вкладышей (коробок), а также навеске утеплителя или готовых панелей наружных стен; 2 — формование, включающее операции по установке и закреплению бортовых щитов опалубки и укладку бетона в вертикальные (стены) и горизонтальные (перекрытия) элементы блока,

а также заглаживание и укрытие поверхности бетона перекрытия; 3 — выдержка отформованных изделий и их тепловлажностная обработка (или ее первая ступень); 4 — распалубка полная или частичная (со второй ступенью тепловой обработки, либо «дозреванием» бетона). В варианте, при котором отдельно формуется несущая плита пола, пятым «постом» является линия сборки ее с колпаком и доводки блок-комнат.

Для производства объемных блоков запроектирован ряд технологических линий с использованием различных приемов формования бетона и конструкций установок.

На установке ТАГ-4 (рис. 116) сердечник, расположенный на тележке-платформе, после очистки, смазки, установки арматурного каркаса, оконных и дверных коробок и навески утеплителя перемещается на пост формования, где с помощью рычажно-гидравлического привода осуществляется закрывание установленных на шарнирах боковых щитов формы и последовательная укладка и уплотнение подвижной бетонной бмеси в вертикальные и горизонтальные элементы объемного блока. Уплотнение и заглаживание смеси осуществляют с помощью виброрейки. После первой ступени тепловой обработки, в течение которой обеспечивается распалубочная прочность бетона, бортовые элементы формы отводятся, а отформованный блок перемещают на пост окончательной (2-я ступень) тепловлажностной обработки, где достигается отпускная прочность бетона. По окончании процесса твердения бетона платформу с изделием передают на пост распалубки, где с помощью специальных захватов, перемещаемых гидроприводом, сердечник опускают в приямок, извлекая из объемного блока, а последний краном отправляют на линию отделки и комплектации.

На установках УФБЦ-1, МОБ-У2 и ФК-5 (рис. 117—118) формование осуществляют с подвижным сердечником. Этот метод перспективен, так как обеспечивает изготовление стен толщиной от 20 мм и более из малоподвижных бетонных смесей, что позволяет по сравнению с другими способами существенно снизить расход цемента и сократить время тепловлажностной обработки изделий. Вместе с тем использование этого метода вызывает существенное усложнение конструкции формовочных машин.

Все установки этого типа представляют собой расположенный в приямке гидравлический подъемник с платформой и металлическую силовую часть, на которой по периметру размещены вибробункеры. В установке УФБЦ-1 бортовые щиты формы навешивают на сердечник, на других типах машин выполняют стационарно-подвижными в приямке гидроподъемника. На боковых щитах опалубки установлены виброустройства. К платформе-гидроподъемника установки ФК-5, кроме того, с четырех сторон закреплена: прорезиненная лента, которая с помощью тросов и системы роликов при

подъеме и опускании сердечника движется по внутренней поверхности боковых щитов опалубки.

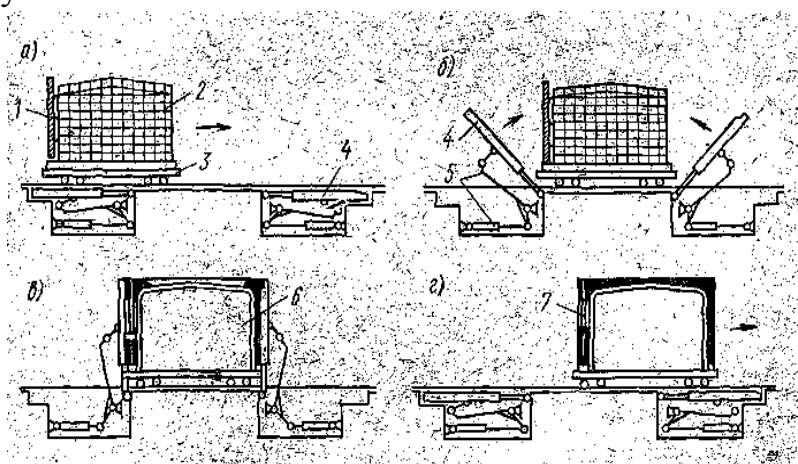


Рис. 116. Принципиальная технологическая схема формирования объемного блока типа «колпак» на установке ТАГ-4:

а – перемещение подготовленного сердечника на пост бетонирования; б – закрытие щитов и зажим их гидрозатворами; в – бетонирование и предварительная тепловая обработка объемного блока, г – раскрытие щитов и перемещение объемного блока на пост дозревания; 1 — утеплитель; 2 — арматурный каркас; 3 — тележка; 4 — наружные торцовые щиты; 5 – гидросистема торцовых щитов; 6 — сердечник; 7 — оконная коробка

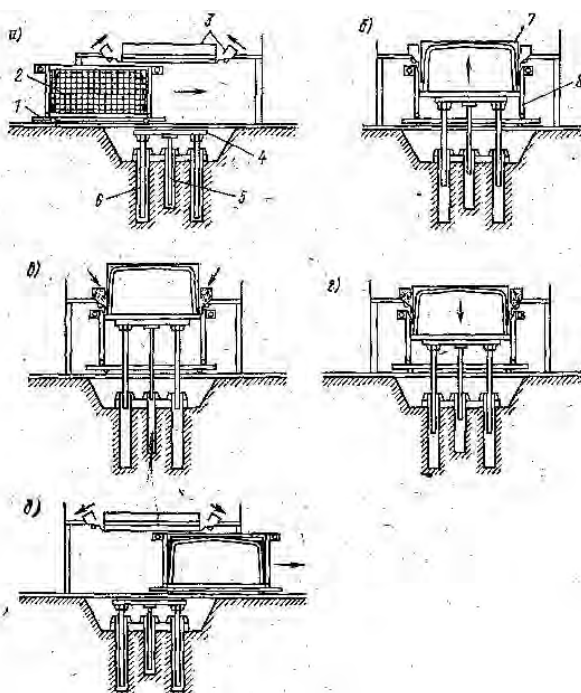


Рис. 117. Принципиальная технологическая схема формирования объемного блока типа «колпак» на установке УФБЦ-1:

а-подача формы на пост бетонирования и ее фиксация; б – подъем сердечника; в – заполнение формующих бункеров бетонной смесью; г – бетонирование стен блока и опускание сердечника; д – подъем формующих бункеров, перемещение формы на пост бетонирования потолка; 1 – тележка; 2 – сердечник; 3 – бункера; 4 – подвижная платформа; 5 – гидроподъемник; 6 – направляющие; 7 – арматурный каркас; 8 – форма наружных щитов.

На установках с подъемным сердечником (после подачи платформы- вагонетки подготовленный к бетонированию) сердечник закрепляют на подвижной платформе гидropодъемника и поднимают в верхнее положение, а вибробункера заполняют бетонной смесью. При медленном «опускании» сердечника включают виброустройства, размещенные на боковых щитах установки, и производят укладку и уплотнение смеси по всей высоте вертикальных элементов объемного блока.

На установках МОБ-У2 и ФК-5 на этом же посту осуществляют укладку, уплотнение и заглаживание бетона в перекрытие объемного элемента. На установках УФБЦ формование перерытая выполняют отдельно на специальной линии и монтируют с блоком на линии сборки-доводки-отделки.

В технологической линии с установкой УФБЦ-1 на посту подготовки сердечника после установки арматуры и вкладышей для образования дверных проемов предусмотрено нанесение отделочного растворного слоя («набрызг») с помощью специальной пневмоустановки. Это позволяет уменьшить расход вяжущего и получить более гладкую внутреннюю поверхность объемного блока.

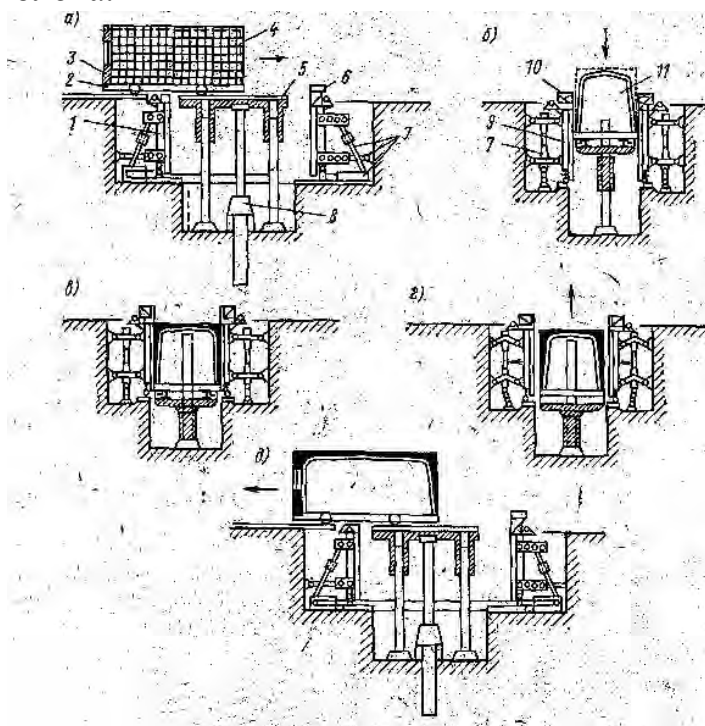


Рис. 118. Принципиальная технологическая схема формования объемного блока типа «колпак» на установке МОБ-У2:

а – подача сердечника на подъемную платформу; б – бетонирование стен; в – бетонирование потолка; г – разведение наружных щитов и подъем сердечника с изделием; д – перемещение сердечника с изделием; 1 – поперечный щит; 2 – тележка; 3 – наружная стена блока; 4 – арматурный каркас; 5 – подъемная платформа; 6 – бункер поперечного щита; 7 – механизм запирания щитов; 8 – гидropодъемник; 9 – продольный щит; 10 – бункер продольного щита; 11 – сердечник.

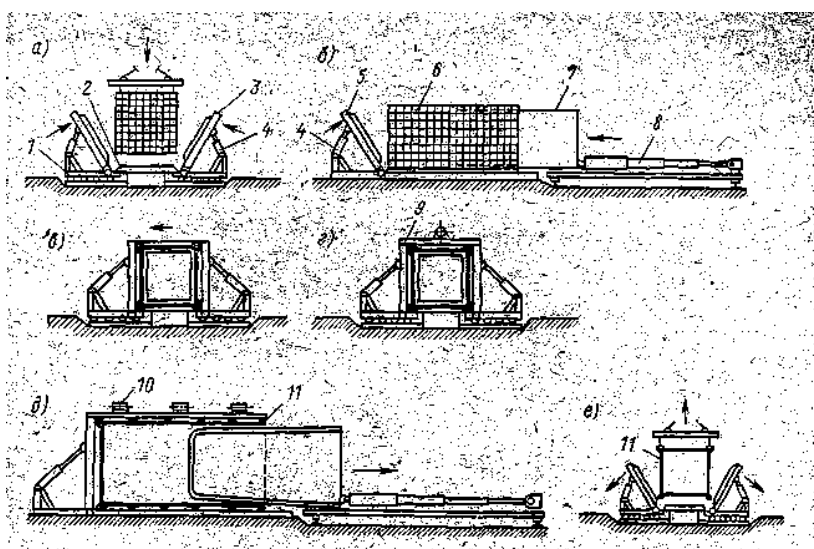


Рис. 119. Принципиальная технологическая схема формирования объемного блока типа «стакан на боку»:

а – чистка и смазка формы, установка арматурного каркаса; б – бетонирование плиты пола, ввод сердечника в форму, установка наружных щитов в рабочее положение; в – бетонирование стен и потолка; г – тепловлажностная обработка; д – распалубка сердечника, продолжение тепловлажностной обработка; е – раскрытие наружных щитов, съем отформованного блока; 1 – поддон подвижный; 2 – поддон съёмный; 3 – щит продольный; 4 – гидросистема открывания; 5 – щит поперечный; 6 – арматурный каркас; 7 – сердечник жесткий; 8 – устройство для ввода-вывода сердечника; 9 – виброцилт потолка; 10 – вибраторы; 11 – объемный блок.

Стендовое производство объемных блоков типа «стакан на боку» или «короб» с использованием формовочных установок ФМ-4 (г. Краснодар) (рис. 119), включает ряд размещенных в одну линию установок, представляющих собой стационарные формы с отодвигаемыми гидроцилиндрами боковыми щитами и траверсной, тележки, передвигающейся параллельно линии и оборудованной механизмом для ввода и извлечения сердечника. Процесс изготовления изделий на такой линии ведется следующим образом. После очистки и смазки бортовых элементов формы производят установку арматурных каркасов, закладных деталей и дверных вкладышей. Затем вводят предварительно очищенный и смазанный сердечник, устанавливая в проектное положение бортовые щиты, после чего осуществляют последовательную укладку подвижной бетонной смеси сначала в плиту пола и вертикальные элементы блока (стены и перегородки), а затем в перекрытие. Уплотнение смеси осуществляют с помощью вибраторов, навешенных на боковые щиты формы, а в перекрытиях — виброрейкой. Тепловлажностную обработку производят контактным, способом с помощью пара, подаваемого внутрь боковых щитов формы и сердечника. Спустя расчетное время после начала тепловой обработки сердечник извлекают. После окончания процесса твердения бортовые элементы формы отодвигают, а готовый блок снимают мо-

стовым краном и отправляют на линию сборки комплектации и отделки. В этом варианте наружные стеновые панели изготавливают отдельно и затем монтируют с блоком.

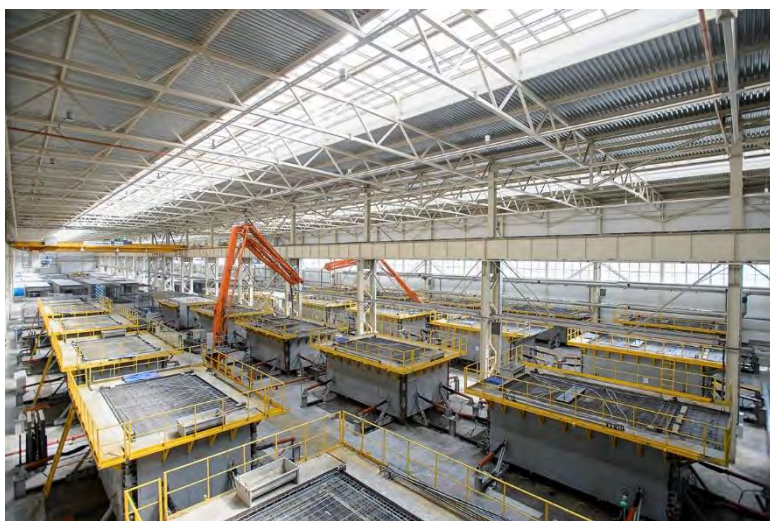


Рис. 120 – Общий вид производственного цеха.

На рис. 120-122 приведены фотографии действующего в г. Воронеже (Россия) с 2015г. предприятия по производству и строительству зданий из объемных блок-комнат.

Оборудование завода произведено в Германии, практикующей этот вид жилищного строительства. Формовочный производственный цех оснащен стен-формами с откидными бортами (рис. 121).



Рис. 121 – Общий вид стенд-форм.

Подача бетона при формировании «колпака» осуществляется с помощью перемещающейся установки – бетононасоса, обеспечивающей высокую производительность бетонирования и обслуживающей весь пролет (рис. 122).



Рис. 122 – Бетонирование блок-комнаты типа «колпак».

В принятом на этом предприятии варианте изготовления блок-комнат одновременно с колпаком формируют несущую часть наружной стены. После твердения бетона и распалубки колпака на нее монтируют плитный утеплитель и легкие защитно-декоративные наружные панели.

Санитарно-технические кабины изготавливают на стендовых технологических линиях, либо на конвейерных – карусельных линиях. В обоих случаях формы оснащены откидными бортами, несъемным сердечником, устройствами для «подрыва» изделия в начале операции его съема (см. п. 5.2, рис. 68) с сердечника, т.к. реализуется вариант технологии «колпак».

Отдельно изготавливают плиту (поддон) пола на конвейерных (карусельных) или агрегатно-поточных линиях (участках), обычно размещенных в одном с производством «колпаков» цеху (см. рис. 22).

Сборку, комплектацию, начинку, отделку до заданной степени (уровня) заводской готовности производят на соответствующих стенд-постах (см. рис. 22)

Время доводки изделий до заводской готовности в цеху включается в период необходимой выдержки при отрицательной температуре наружного воздуха и учитывается при расчете необходимых для поста выдержки изделий площадей.

Крупноразмерные элементы элеваторов, шахт лифтов и кольца изготавливают на стендах по аналогии с ранее приведенной технологией изготовления колпаков санитарно-технических кабин.

Кольца смотровых колодцев технических сетей (диаметром 1,0...1,5 м и высотой до 1,0 м) изготавливают по агрегатно-поточной технологии с укладкой и уплотнением бетона вибрированием, либо вертикальным вальцеванием с использованием жестких бетонных смесей (марок ~ Ж3).

Отформованные изделия вместе с внешней (разъемной) формой и поддоном подают краном к месту твердения (или в камеры тепловой обработки), где разъемная внешняя часть формы снимается для следующего оборота.

При вибрационном формовании изделий, кроме приведенного, практикуют варианты: вертикального съема внешней части формы, имеющей технологический уклон; а в ряде случаев (в основном $\varnothing \geq 2,0$ м) - бетон твердеет вместе с внешней формой, при съеме ее после достижения прочности бетона, обеспечивающей бездефектную распалубку изделий.

Вентиляционные блоки изготавливают в больших объемах по агрегатно-поточной технологии формованием в горизонтальном положении на специализированных формовочных постах. Кроме виброплощадки, посты оснащены формообразующими пуансонами–вибровкладышами. В рабочем положении они вместе с внешней формой образуют формирующую пару. После укладки и уплотнения бетона пуансоны-вибровкладыши извлекаются (при горизонтальном перемещении), образуя в «теле» отформованного изделия соответствующие пустоты – каналы. Отформованное изделие на поддоне (с бортонасткой внешнего контура, а по другому варианту – после ее отсоединения (борта откидываются или снимаются)) поступает на тепловую обработку.

При этом варианте изготовления используют мелкозернистые бетонные смеси (крупность зерен заполнителя $\leq 8...10$ мм) с показателем жесткости > 20 с, т.е. марок \geq «ЖЗ». Качество верхней грани изделий обеспечивают использованием пригруза, виброреек, затирочных машин.

В меньших объемах вентиляционные блоки изготавливают при вертикальном формовании в многоместных стендах-кассетах. Особенности этой технологии является использование высокоподвижных бетонных смесей марок П4; П5, т.е. характеризующихся осадкой конуса: $OK \geq 16$ см. А также то, что извлекают пустотообразующие вкладыши после схватывания бетона и потери им пластических свойств. Для бездефектного извлечения вкладышей их изготавливают с технологическими уклонами и тщательно смазывают на стадии подготовки к формованию. В остальном технология изготовления данных изделий соответствует общему описанию ведения работ при использовании кассетных установок (см. п. 2.1, рис. 12 и 13).

10.2 Особенности технологии изготовления трубчатых изделий кольцевого сечения.

Технологии изготовления напорных труб (давление при эксплуатации для III-го класса 0,5 МПа (проверочное 0,6 МПа); II-го – 1,0 МПа (1,2 МПа) и I-го – 1,5 МПа (1,8 МПа) соответственно), предназначенных для устройства различных трубопроводов транспортирования жидкостей (воды; растворов хи-

мических веществ; ливневых и производственных стоков и пр.) под избыточным давлением, представлены следующими разновидностями.

Виброгидропрессованные трубы, производство которых рассмотрено на примере компоновочного решения технологической линии в п. 2.3.2 (рис. 28), являются наиболее массово изготавливаемыми в современных условиях изделиями подобного типа. Наиболее широко они используются для устройства водоводов питьевой воды. Основной типаж труб характеризуется внутренними диаметрами от 800 мм до 1600 мм, при длине – 5,0 м. Кроме указанного, область использования включает устройство ливневых канализационных сетей, водопропусков транспортных коммуникаций и др. подобных сооружений.

Трубы с металлическим сердечником в основном выпускаются внутренним (рабочим) диаметром ~ 300 мм при длине – 5 м и ~ 500 мм, при длине в 10 м. Технология их изготовления приведена в п. 2.3.2, а вариант компоновочного решения технологической линии на рис. 30. Кроме прочего, особенностью этой технологии является сплошной контроль напорности изделий не путем проверки труб на гидростенде, а металлических сердечников после их изготовления.

Этот тип труб может использоваться для устройства водоводов, но преимущественно подвергается дополнительной обработке (пропитке бетона мономерами или гидрофобными веществами) для повышения эксплуатационной надежности и долговечности при эксплуатации в агрессивных средах. Дополнительная обработка бетона осуществляется целенаправленно, в зависимости от свойств материалов, перекачиваемых по устраиваемым из этих изделий техническим трубопроводам.

Центрифугированные трубы, изготавливаемые по 3-хстадийной технологии (изготовление железобетонного сердечника с напрягаемой продольной арматурой; водное выдерживание сердечника после пропаривания; напряжение поперечной спиральной арматуры, ее защита и твердение защитного слоя бетона), в основном выпускаются рабочим (внутренним) диаметром от 500 мм до 1000 мм при длине в 5,0 м. Компоновочное решение технологической линии и описание технологии производства приведены в п. 2.3.2 рис. 27.

Рациональная область использования этих труб – устройство водоводов питьевой воды, а также технических сетей, которые эксплуатируются с постоянным или периодически возникающим давлением (в частности, ливневой канализации).

Безнапорные бетонные и железобетонные трубы изготавливают центрифугированием, а также в вертикальном положении – радиальным прессованием и виброформованием.

Центрифугированные железобетонные трубы изготавливают с использованием ременных (или роликовых) центрифуг. Рабочий диаметр труб (от 0,5

до 1,0 м, длина 5,0 м) на технологических линиях, пример и описание работы которых приведено в п. 2.3.2, рис. 26. Особенности состава бетона, технологии формования и формирования его структуры в процессе центрифугирования приведены в п. 7.5, рис. 104. Центрифугированный тяжелый бетон характеризуется высокой средней плотностью (на тяжелых заполнителях ≥ 2500 кг/м³) и прочностью более 50 МПа. Он плотен и непроницаем по внешней контуру, но проницаем изнутри. Причина в наличии радиально направленных капиллярных порах-каналах от движения отжимаемой давлением воды, отходящей в виде шлама – взвеси в ней мельчайших частиц цемента, миндобавок (при наличии в цементе), пыли заполнителей. Рационально использование «грубомолотых» ($S_{уд} < 2500$ см²/г по прибору «ПСХ») цементов, мытых заполнителей, отсутствия минеральных добавок для снижения выхода шлама. Кроме этого, целесообразно снижение расхода воды при сохранении требуемой пластичности (ОК ~ 4...6 см) бетонной смеси за счет использования пластификаторов.

Известен прием повышения непроницаемости центрифугированного бетона путем многослойного (2-3 слоя) формования. Каждый последующий слой при его распределении обеспечивает, во-первых, срыв с внутренней поверхности ранее отформованного слоя проницаемой шламовой «корки», а, во-вторых, сминает и перекрывает своей плотной внешней частью фильтрационные каналы предыдущего слоя. В итоге растет степень непроницаемости бетона многослойного формования.

Радиальное прессование безнапорных бетонных и железобетонных труб (диаметром от 300 до 800 мм, длиной 2,0...3,0 м) осуществляют на специализированных установках, принципиальная схема которых (и их действие при формовании изделий) приведены на рис. 123 и 124.

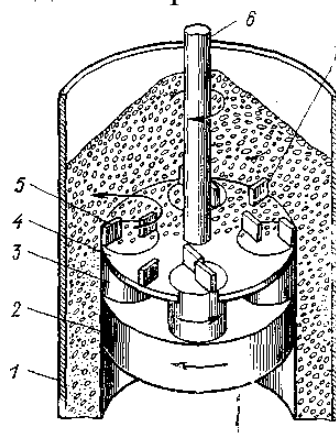


Рис. 123. Схема уплотнения смеси при формовании бетонных безнапорных труб методом радиального прессования:

1 – стенка формы, 2 – цилиндрическая часть головки, 3 – ролик головки, 4 – верхний диск, 5 – лопасть ролика, 6 – вал, 7 – лопатка.

При радиальном прессовании (рис. 123) бетонная смесь уплотняется свободно вращающимися роликами головки, которая также вращается вокруг вертикальной оси и одновременно поднимается со скоростью, обеспечивающей качественное уплотнение бетона. Закрепленная на приводном валу 6 роликовая головка, поднимается вверх и вращается. Возникающие центробежные силы, а также лопасти 5 роликов отбрасывают бетонную смесь к стенкам 1 формы. Роликами укатывают ее, прижимая смесь к стенке формы. Поверхность отформованной части трубы по мере передвижения головки вверх заглаживается ее цилиндрической частью 2. Наружный диаметр верхнего диска 4 с лопатками 7 меньше диаметра заглаживающего цилиндра головки. За счет разности в их диаметрах образуется слой смеси, уплотняемый роликами, так как описываемая ими окружность соответствует диаметру цилиндрической части головки.

Формование раструбной части трубы и ее последующее радиальное прессование отражены на рис. 124.

Вертикальное виброформование безнапорных железобетонных труб (диаметром до 1500 мм, длиной до 3,5 м) осуществляют на специализированных установках с использованием переносных (краном) загрузочных бункеров для порционной (на одну формовку) подачи бетонной смеси, составляющих единую формующую систему с опускающейся в процессе формования внешней формой и неподвижным вибросердечником (рис. 125). Принципиальная схема формования труб приведена на рис. 126.

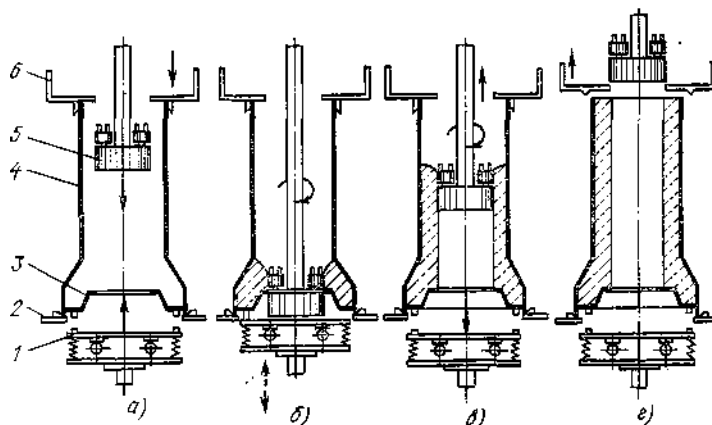


Рис. 124. Схема формования труб методом радиального прессования:

а, б, в, г – положения роликовой головки, механизма формования раструба и воронки; 1 – механизм формования раструба, 2 – поворотный стол, 3 – поддон, 4 – форма, 5 – роликовая головка, 6 – воронка.

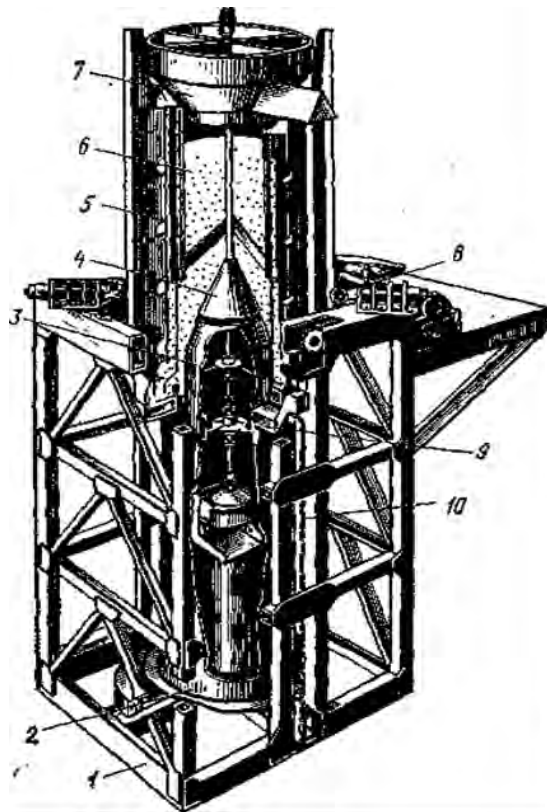


Рис. 125. Принципиальная схема установки для вертикального виброформования труб:

1 – рама, 2 – вибросердечник, 3 – виброголовка, 4 – конусное днище переносного бункера, 5 – форма, 6 – переносной бункер, 7 – загрузочная воронка бункера, 8 – направляющий ролик, 9 – стол, 10 – подъемная цепь.

На установках вертикального виброформования трубы изготавливают в следующем порядке. На очищенный и смазанный поддон, расположенный на ровной площадке, устанавливают арматурный каркас раструбной частью вниз, а затем на него ставят форму и закрепляют ее к поддону.

Внутри формы опускают бункер с бетонной смесью (рис. 126а). С помощью двух тяг, подвешенных к опорным лапам бункера, соединяют форму с бункером и переносят их на установку.

При опускании поддон с формой опирается на подвижный стол, а бункер своими лапами – на опорные металлоконструкции рамы.

Виброголовка сердечника входит в форму, а конусообразный клапан, закрывающий днище бункера, опускается, и бетонная смесь заполняет раструбную часть формы (рис. 126б).

Включается вибратор, и примерно через 0,5... 1 мин (время, необходимое для уплотнения раструбной части) включается привод, который опускает стол с формой. Форма под действием собственного веса и веса бетонной смеси опускается вслед за подвижным столом, опираясь на него. В процессе опускания трубы из бункера все время поступает бетонная смесь, заполняет форму и уплотняется виброголовкой. Вибрация корпуса сердечника предупреждает зависание на нем отформованной части трубы.

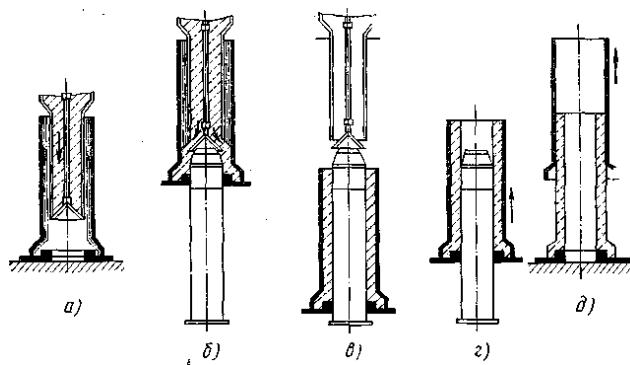


Рис. 126. Принципиальная схема вертикального виброформования труб:
а – подача бункера с бетонной смесью в форму; *б* – начало формования; *в* – окончание формования; *г* – сьем формы с трубой с вибросердечника; *д* – сьем формы с изделия.

Бетонирование заканчивается после достижения формой нижнего положения (рис. 126в). Бункер поднимают краном и направляют на загрузку новой порцией бетонной смеси. Форму при выключенном вибраторе поднимают приводом подвижного стола на 30...50 см, а затем – краном (рис. 126г), который снимает ее с отформованной трубой с сердечника и переносит к месту пропаривания. Форму отсоединяют от поддона, краном снимают с изделия (рис. 126д) и направляют для формования следующей трубы, а свежотформованную трубу подвергают термообработке.

В современных условиях наиболее распространен вариант формования бетонных и железобетонных безнапорных труб диаметром до 1000 мм, длиной до 2,5...3,0 м с использованием разъемных внешних форм.

В этом случае (рис. 127) формующая установка с вибросердечником располагается в заглубленной приемке, а бетонная смесь в процессе формования непрерывно (малым расходом) подается на вершину вибросердечника (по аналогии с формованием виброгидропрессованных труб) и стекает в пазуху, образуемую вибросердечником и внешней формой, под влиянием силы тяжести и тиксотропного разжижения цементного теста.

По окончании процесса формования изделие вместе с внешней формой перемещается (краном) к месту твердения, где разъемная внешняя форма отсоединяется от поддона с изделием и снимается краном для следующего оборота. Ее фиксируют на очередном поддоне (после установки арматурного каркаса (при наличии)) и в сборе подают к формующему устройству (установке).

Изделия формуют раструбом вниз. Конфигурация стыковочной части труб придается конструкцией поддона и съемной внешней формы. Конфигурация и размеры стыковой части оголовка трубы обеспечивается вибропрессовкой съемного кольцевого пригруза в конце процесса формования трубы. С целью предотвращения деформации на оголовки свежераспалубленной тру-

бы на период твердения бетона одевают специальное бандажное кольцо соответствующего типоразмера.



Рис. 127. Формовочный пост вертикального виброформования труб.

Низконапорные железобетонные трубы занимают промежуточное положение между напорными и безнапорными и рассчитаны на давление менее 0,5 МПа. В таких условиях может вынужденно работать, например, ливневая канализация в период обильных (ливневых) дождей. Их изготавливают центрифугированием, виброформованием и методом радиального прессования с усиленным поперечным армированием (спиральной арматурой), но без преднапряжения. В соответствии с принятым способом изготовления различается обеспечиваемая им длина и рабочий диаметр труб (см. ранее изложенное).

11 ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМОВАНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ С НЕМЕДЛЕННОЙ РАСПАЛУБКой.

11.1 Общие положения.

Немедленная распалубка свежееотформованных изделий может быть «частичной» и «полной». Наиболее широко используется прием «частичной» *распалубки*, при которой формование изделий осуществляют на жесткое (недеформируемое) основание – перемещаемые поддоны или неперемещаемое, например, площадка или участок пола, подготовленные для последующего твердения изделий.

Полная немедленная распалубка подразумевает наличие операции транспортирования (пакетирования) свежееотформованных изделий специальными приспособлениями (механическими или вакуумными захватами) с места формования и установкой (размещением) их в устройство-накопитель. Этот прием позволяет уменьшить требуемое количество устройств-накопителей и, одновременно, количество и размеры камер для последующего твердения изделий, т.к. изделия (обычно, это тротуарные (и иные) плиты, установленные впритык друг к другу «на ребро») размещаются более компактно, чем при распалубке их плашмя на поддон. Однако практика производственного использования технологических линий с полной немедленной распалубкой изделий показала, что наряду с указанными преимуществами этот прием имеет существенный недостаток. Манипуляции со свежееотформованными изделиями (бетон которых характеризуется низкой прочностью (0,2...0,4 МПа), но уже не обладает пластическими свойствами) часто приводят к нарушениям структуры бетона и снижению качества изделий. Кроме этого, вариант технологии с полной немедленной распалубкой требует более жесткого контроля за консистенцией бетонной смеси, которая может изменяться в весьма узких пределах. При частичной немедленной распалубке «на поддон» эти пределы значительно больше, что способствует стабильности работы формирующих устройств и технологических линий в целом.

Бетонные смеси, которые используют при формировании изделий с немедленной распалубкой, характеризуется показателем жесткости, т.к. к моменту съема форм-матриц свежееотформованный бетон должен удерживать приданную изделию форму. Его прочность в этот момент незначительна и, как уже отмечалось, должна быть не ниже 0,2 МПа. По физической сущности явления бетон находится в стадии окончания схватывания, т.е. вода затворения связана физически силами потенциала поверхности твердой фазы: цемента, заполнителей и присутствующими в заполнителях пылевидных фракций (и минеральных добавок цемента, при их наличии). Величина показателя жесткости (марки) бетонной смеси, обеспечивающая благоприятные условия формирования бетона (проявление эффекта тиксатропии во всем формируемом объеме и формирование слитной структуры цементного теста), связана непо-

средственной зависимостью с интенсивностью вибровоздействия и давлением пригруза (усилием прессования; см.п. 7.3). Преимущественно жесткость бетонных смесей при частичной немедленной распалубке изделий на поддон соответствует диапазону в 10...20 с (марки Ж1...Ж2), возрастая при полной распалубке изделий до 30...40 с (марки Ж3...Ж4). Соответственно более интенсивным должно быть воздействие на формуемый бетон.

Существенную роль для качественного уплотнения жестких тяжелобетонных смесей играет рациональный зерновой состав заполнителя. Наиболее целесообразно использовать смеси мелкого (песка) и крупного (до 10...12 мм) щебня (предпочтительно – кубовидной формы) заполнителей, которая характеризуется величиной модуля крупности $M_k \sim 4,5...4,7$. При этом песок во всех случаях (включая наличие щебня) должен быть крупнозернистым ($M_k > 2,5$), многофракционным, с минимальными пустотностью и удельной поверхностью. Это предпосылка минимизации расхода цемента, т.е. объема цементного камня в затвердевшем бетоне. Как следствие, обеспечивается снижение пористости бетона, т.к. в тяжелом бетоне на заполнителях плотных горных пород пористость сосредоточена в объеме цементного камня (включая поры зон его контакта с поверхностью заполнителей).

Формование бетона изделий с немедленной распалубкой (преимущественно мелкоштучных: тротуарных (и иных) плит, бортового камня, стеновых камней и блоков и т.п.) осуществляют в вариантах вибропрессования и прессования, подробно рассмотренных в разделе 7. В современных условиях этот процесс осуществляют с использованием специализированных технологических линий, комплексно оснащенных оборудованием, которое обеспечивает выполнение всех операций цикла формования: от подачи поддонов до их пакетирования со свежееотформованными изделиями в устройства-накопители для последующей тепловой обработки (или «естественного» твердения).

Формующие устройства (отечественного и зарубежного производства) оснащаются различными формами-матрицами и соответствующими им пригрузами, что позволяет по мере надобности переходить на выпуск продукции разных конфигураций и типоразмеров (например, тротуарных плит разных видов), а также видов изделий (например, тротуарных плит и бортового камня).

Специализированные под 2-х слойное формование изделий устройства оборудуются соответствующей системой загрузки бетонной смеси (два загрузочных ящика). Эти устройства позволяют формировать изделия с фактурным (лицевым) цветным слоем бетона (тонким (≤ 10 мм) с целью экономии пигмента и белого цемента), а также с сочетанием основного слоя из бетона с крупным заполнителем и фактурного цементно-песчаного (цветного или рядового), т.е. мелкозернистого бетона, обеспечивая гладкую поверхность из-

делий. Следует отметить, что плотность (и непроницаемость), прочность и долговечность бетона с крупным заполнителем выше, чем у цементно-песчаного бетона, а расход цемента ниже (при прочих равных условиях). Однако лицевая поверхность изделий из бетона с крупным заполнителем более шероховата (за счет «выхода» зерен щебня на поверхность), что не является дефектом с позиций обеспечения физико-механических характеристик и морозо-, солестойкости бетона, но может войти в противоречие с действующими нормативами Беларуси по категории качества поверхности (по СТБ 1071-2007 Требуется категория А4 по ГОСТ 13015.0).

Учитывая это несоответствие данный стандарт предоставляет право заказчику (потребителю) и изготовителю на договорной основе в индивидуальном порядке изготавливать изделия с лицевой поверхностью по оговоренному трафарету (с отклонениями от требований к ней по СТБ 1071-2007).

Тепловую обработку изделий с немедленной распалубкой (особенно, тротуарных плит и бортового камня, к бетону которых предъявляют повышенные требования в части морозо-, солестойкости) рекомендуется осуществлять при температуре не более 40 °С, в среде с повышенной (≥ 90 %) относительной влажностью. Рекомендуемая скорость подъема температуры и ее снижение после прогрева не более 5 °С за час.

Наиболее рационален (и с позиций снижения затрат энергии, и с позиций обеспечения качества бетона и изделий) режим тепловой обработки по методу «горячего термоса (см. п. 8.4 энергосберегающие технологии).

Естественное твердение изделий с немедленной распалубкой (без подвода тепла от искусственных источников) должно осуществляться в условиях гидроизоляции внешнего контура (например, полиэтиленовой пленкой или специальными съемными колпаками из той же пленки или иных поронепроницаемых материалов), при создании во внутреннем объеме среды с повышенной влажностью (эжекцией воды, путем увлажнения и т.п.).

Рационально в летний период работ использовать солнечную энергию и обеспечиваемый ей парниковый эффект, соблюдая условия гидроизоляции внешнего контура (см. п. 8.4).

11.2 Особенности технологии формования изделий разных видов.

Тротуарные (и иные) плиты в современных условиях преимущественно формуют с частичной немедленной распалубкой «на поддон».

Известны менее распространенные технологии и технологические линии формования плит с полной немедленной распалубкой вибропрессованием и двухслойным фильтрационным вибропрессованием (см.п. 7.4).

Фактурные слои (из цветного бетона) преимущественно выполняют в варианте двухразовой загрузки форм-матриц – основным, а затем фактурным слоем, при последующем одновременном уплотнении. Раздельное (послой-

ное) уплотнение с использованием давления пригруза не рационально, т.к. в дальнейшем сопровождается отслоением фактурного слоя, в связи с ухудшением его сцепления с базовым слоем бетона по плоскости раздела.

Для оголения декоративного заполнителя фактурного слоя изделия шлифуют. В частности, при варианте изготовления декоративных плит (пола, облицовок) по технологии фильтрационного вибропрессования (п. 7.4).

Бортовые камни малых типоразмеров (для устройства пешеходных дорожек, тротуаров и т.п.) формируют «на поддон» в двух вариантах: плашмя и на ребро; в остальном их технология соответствует ранее рассмотренной.

Дорожные бортовые бетонные камни длиной до 1000 мм для устройства дорожных бордюров, изготавливаемые вибропрессованием, формируют как «на поддон», так и в варианте формирования «на пол». В последнем случае используют специализированные формирующие установки, которые передвигаются вдоль оси подготовленной соответствующим образом площадки (рационально – деревянного пола-настила из шпунтованной сплоченной доски, пропитанной водоотталкивающими составами), на которую формируют (преимущественно по три-четыре) изделия за один прием. На период твердения бетона изделия укрывают паронепроницаемым материалом (например, полиэтиленовой пленкой) или съёмными колпаками.

Железобетонные бортовые дорожные камни больших типоразмеров (дорожный бордюр длиной до 3 м и более) изготавливают из пластичных бетонных смесей по традиционной технологии в многоместных формах с уплотнением бетона вибрированием.

Блоки стен подвалов с частичной немедленной распалубкой (размерами до 2400х600х600 мм) изготавливают в аналогичном дорожным бортовым камням варианте формирования «на пол», на подготовленное основание – площадку. Формующее самоходное устройство перемещается по рельсовому пути. Оно оснащено приемным (одновременно – загрузочным) бункером из расчета формирования за один прием до трех блоков. Вертикально перемещающаяся форма-матрица оснащена навесными вибраторами для уплотнения бетона. Заглаживание поверхности после формирования и установка монтажных петель осуществляется до подъема формы-матрицы вручную оператором-формовщиком. Используются бетонные смеси жесткостью ~ 10...20 с (марки Ж1 и Ж2) с крупным заполнителем до 20 мм (допускается до 40 мм). Это позволяет формировать блоки без пригруза и, одновременно, обеспечивать сохранение их формы при съеме формы-матрицы вертикальным подъемом. Для облегчения съема стенки ее внутренних полостей выполнены с технологическим уклоном. Последующее твердение бетона осуществляется с укрытием изделий паронепроницаемым материалом или съёмными колпаками.

11.3 Особенности формования стеновых блоков.

Бетонные стеновые блоки (наибольший размер до 400...600 мм) изготавливают с использованием мелкозернистого (цементно-песчаного) тяжелого бетона и легкого бетона.

На территории Беларуси производство стеновых блоков из тяжелого бетона развитие не получило, т.к. даже их комплексный вариант (с заполнением пустот теплоизолирующим материалом, что существенно усложняет технологию производства) не конкурентноспособен по теплоизолирующей функции и стоимости с керамзитобетонными и газосиликатными блоками отечественных производств.

Стеновые блоки из легкого бетона на керамзитовом заполнителе (песке и гравии) изготавливают полнотелыми, т.е. сплошного сечения (без пустот, или рядовые блоки), предназначенные для кладки внутренних стен и перегородок, а также многопустотными. Основное предназначение последних – возведение (устройство) наружных стен зданий различного назначения (самонесущих для многоэтажных и несущих, в варианте малоэтажного строительства).

На технологических линиях по изготовлению многопустотных стеновых блоков практикуется формование двух видов блока: типа «колпак» и со сквозными пустотами. В варианте «колпак» верхняя грань блока сплошная; пустоты «не доходят» до его поверхности. С этой целью пустотообразующие элементы в форме-матрице (в их сборе к моменту загрузки смеси) располагаются ниже ее верхней грани на расчетную толщину будущей «полки» изделия. В этом варианте блок характеризуется наличием сплошных стенок и верхней грани, что удобно для последующей работы при кладке стен из блоков этого типа. Одновременно верхняя полка (даже из легкого бетона) создает зону с меньшим сопротивлением теплопередаче, чем остальная площадь блока.

Вариант стеновых блоков со сквозными пустотами имеет две основные разновидности. В первом случае пустоты крупные: одна или несколько, которые затем либо на стадии производства блоков заполняются теплоизолирующим материалом, либо выполняется колодцеобразная кладка стен, с последующим заполнением пустот теплоизолирующим материалом в построечных условиях. Этот вариант (и его разновидности) имеет ограниченное применение, в основном для малоэтажного строительства.

Более широкое применение получил вариант формования стеновых многопустотных блоков со щелеобразными (объемно-плоскими пустотами), которые смешены друг относительно друга, чем уменьшается количество «мостиков холода» по поперечному сечению блока. Эти блоки, отформованные из поризованного (крупнопористого) легкого керамзитобетона, получили название «ТермоКомфорт», т.к. характеризуются высоким коэффициентом

сопротивления теплопередаче за счет рационально расположенных пустот (до 7...13 по сечению, в зависимости от ширины блока) и низкой теплопроводности бетона ($\leq 0,14 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{С}$).

Искусственная поризация бетона достигается особенностями технологии его приготовления. В частности, керамзитовый заполнитель первоначально смешивается с частью воды затворения и увлажняется. Затем в бетоносмесителе (принудительного принципа действия) при непрерывном перемешивании подается цемент, который «адсорбируется» на поверхности зерен заполнителя и смачивается имеющейся на его поверхности водой. Образуется жесткая рыхло-сыпучая бетонная смесь, которую формуют при интенсивном вибрационном воздействии с одновременным прессующим давлением. При формовании такой сверхжесткой смеси тиксотропное разжижение цементного теста проявляется в основном только в тех его объемах, которые находятся в зонах взаимных контактов зерен заполнителя. То есть, в ограниченных объемах, благодаря чему в затвердевшем бетоне слитная структура цементного камня формируется только в зонах контакта между зёрнами заполнителя. В межзерновом пространстве «скелета» из зерен заполнителя цементный камень отсутствует, а образующаяся при этом открытая, сообщающаяся пористость бетона обеспечивает ему хорошую паро-, газопроницаемость. После оштукатуривания (или иного варианта отделки) внутренней и внешней поверхностей эта пористость (заполненная воздухом), в сочетании с пористостью керамзитового заполнителя, обеспечивает бетону низкую теплопроводность.

Технология и способы предварительного напряжения
стальной арматуры и примеры расчета

1. Технология предварительного напряжения арматуры

Предварительно напряженными называют такие железобетонные конструкции, в которых в процессе изготовления искусственно созданы значительные сжимающие напряжения в бетоне путем натяжения высокопрочной арматуры. Начальные сжимающие напряжения создаются в тех зонах бетона, которые впоследствии под воздействием нагрузок испытывают растяжение. В отдельных случаях (например, при изготовлении преднапряженных плит на длинных стендах безопалубочного формования) по конструктивным соображениям напрягают арматурные элементы сжатой в процессе эксплуатации зоны бетона.

Суть использования предварительно напряженного железобетона заключается в экономическом эффекте, который достигается применением высокопрочной арматуры с обеспечением высокой трещиностойкости конструкций и, как следствие, их повышенной жесткостью и сопротивлением динамическим нагрузкам, что сопровождается ростом коррозионной стойкости и долговечности конструкций. В исключительном случае (для стендов безопалубочного формования «пласта» изделий, нарезаемых затем по требуемой длине), напряжение арматуры сжатой зоны бетона предотвращает спонтанное образование трещин в этой зоне при передаче усилия от рабочей арматуры на затвердевший бетон.

В предварительно напряженном элементе под нагрузкой бетон испытывает растягивающие напряжения только после погашения начальных сжимающих напряжений.

В результате предварительно напряженные железобетонные элементы работают под нагрузкой без трещин или с ограниченным по ширине их раскрытием и прогибом по сравнению с конструкциями без предварительного напряжения. В этом их отличие от конструкций без предварительного напряжения, с вытекающими отсюда особенностями их расчета, конструирования и изготовления.

В производстве предварительно напряженных элементов возможны два способа создания предварительного напряжения: натяжение арматуры на упоры; натяжение на бетон.

При *натяжении на упоры* арматуру заводят в форму до бетонирования элемента, натягивают механическим, электротермическим или электротермомеханическим способом до заданного контролируемого напряжения, а после приобретения бетоном необходимой прочности перед обжатием отпускают с упоров. Арматура восстанавливает упругие деформации в условиях сцепления с бетоном (анкерения) и обжимает окружающий бетон.

При *натяжении на бетон* сначала изготавливают бетонный или армированный элемент, затем при достижении бетоном необходимой прочности создают в нем предварительное сжимающее напряжение, для чего напрягаемую арматуру заводят в каналы или в пазы, оставляемые при бетонировании элемента, и натягивают его на бетон. При этом способе напряжение в арматуре

контролируют после окончания обжатия бетона. Каналы в бетоне, превышающие диаметр арматуры на 5... 15 мм, создают укладкой извлекаемых впоследствии пустообразователей (стальных спиралей, резиновых трубок и т.п.) или оставляемых в бетоне гофрированных стальных трубок. Сцепление арматуры с бетоном (если оно используется) создается после обжатия инъецированием - нагнетанием в каналы цементного теста или раствора под давлением. Если напрягаемую арматуру располагают с внешней стороны элемента (кольцевая арматура труб, резервуаров и т.п.), то навивку ее с одновременным обжатием бетона выполняют специальными навивочными машинами. В этом случае на поверхность элемента после натяжения арматуры наносят защитный слой бетона.

Натяжение на упоры, как более производительное при серийном изготовлении изделий, является основным способом в заводском производстве. Натяжение на бетон применяется, главным образом, для крупноразмерных конструкций и при соединении их во время монтажа.

1.1. Область применения и основные положения

Изготовление предварительно напряженных железобетонных конструкций должно осуществляться по рабочим чертежам конструкций, соответствующим действующей нормативно-технической документации.

Выбор технологической схемы изготовления предварительно напряженных конструкций рекомендуется осуществлять в каждом случае с учетом конкретных условий, типа конструкций, характеристик и свойств материалов, наличия оборудования и обосновывать технико-экономическими расчетами.

При организации производства предварительно напряженных железобетонных конструкций следует проверить соответствие принятых в проекте данных фактическим условиям изготовления - способу натяжения арматуры, деформации форм или поддонов, податливости анкерных устройств. Если технология и оборудование не отвечают требованиям проекта, то способ изготовления и оснастку следует привести в соответствие с данными рабочих чертежей или совместно с проектной организацией скорректировать рабочие чертежи конструкции с учетом специфики ее изготовления на данном предприятии.

При изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций необходимо обеспечить их свободное деформирование при передаче усилия предварительного напряжения на бетон, для чего изделие должно быть освобождено от элементов форм и других деталей оснастки, препятствующих его деформации.

Необходимо также принять меры для обеспечения свободных деформаций изделия от воздействия температуры и усадки бетона.

При освоении на каждом предприятии выпуска новых конструкций первые из них надлежит испытать до разрушения в соответствии с требованиями ГОСТ 8829 «Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением и оценка прочности, жесткости, трещино-

стойкости».

Изготовление предварительно напряженных железобетонных конструкций должно сопровождаться систематическим контролем качества заполнителей, цемента, арматуры, бетонной смеси, величины предварительного напряжения, прочности бетона при передаче усилия обжата на конструкцию и в 28-дневном возрасте, базовых размеров изделий.

Изготовление предварительно напряженных железобетонных конструкций с натяжением арматуры на упоры производится по следующим схемам:

- 1) в перемещаемых силовых формах по агрегатно-поточной технологии или на конвейерах;
- 2) на коротких и длинных стендах в обычных (несиловых) формах или в варианте безопалубочного формования на поддон;
- 3) в стационарных силовых формах (т.е. формах, воспринимающих усилие натяжения арматуры в период изготовления конструкций и твердения бетона до приобретения им прочности, достаточной для восприятия усилия обжата конструкций).

Натяжение высокопрочной стержневой горячекатаной (упрочненной вытяжкой) и термомеханически упрочненной арматуры классов S540 (A400B; A-IIIВ), S800 (A800; A-V), S1200 (A1200; A-VII) диаметром 8...22 мм рекомендуется осуществлять электротермическим способом, а диаметром 25...40 мм - механическим.

Натяжение высокопрочной арматурной проволоки классов S1400 (Bp-II и B-II), канатов классов К-7 и К-19 и стержневой термомеханически упрочненной арматуры классов S1200 (A1200; A-VII), а также преднапряжение арматуры изделий, относящихся к I категории трещиностойкости, рекомендуется осуществлять механическим способом.

Механический способ натяжения стержневой арматуры диаметром 8...22 мм указанных классов может применяться при наличии соответствующего оборудования и при условии обеспечения требуемой производительности технологических линий.

При непрерывном армировании изделий высокопрочной проволокой или канатами рекомендуется применять электротермомеханический способ натяжения.

Допускается использовать электротермический способ для натяжения стержневой термомеханически упрочненной стали классов S1200 (A1200; A-VII) при условии соблюдения требований п. 4.1, п/п 4 настоящего пособия.

Электротермический способ также может быть допущен для натяжения высокопрочной проволоки класса Bp-II при условии соблюдения требований п. 4.1, п/п 4 настоящего пособия.

При изготовлении конструкций на длинных и коротких стендах следует преимущественно применять арматурные канаты классов К-7 и К-19, унифицированные пакеты высокопрочной проволоки класса Bp-II с натяжением механическим способом.

Выбор напрягаемой арматуры и способа натяжения при изготовлении

предварительно напряженных железобетонных конструкций в стационарных силовых формах зависит от требований проекта, наличия оборудования для натяжения, длины изделия и вида применяемой на данном предприятии напрягаемой стали и определяется технико-экономическим расчетом.

Стержневую арматуру классов S800 (A800;A-V), S1200 (A1200;A -VII) рекомендуется применять для изделий длиной до 12 м; для изделий большей длины применяется проволочная и канатная арматура классов S1400 (Bp-II), K-7 и K-19, а также свариваемая или с винтовым профилем стержневая арматура классов S800 (A800;A-V), S1200 (A1200;A-VII).

1.2. Арматурные стали

В качестве напрягаемой арматуры предварительно напряженных конструкций следует применять стержневую арматуру классов S540, S800 и S1200, проволочную и канатную арматуру класса S1400. По способу производства арматура может быть горячекатаной (в том числе упрочненной вытяжкой), термомеханически упрочненной, холоднодеформированной. Требования к механическим свойствам арматуры регламентируются соответствующими стандартами.

Расчетные и нормативные сопротивления арматурной стали видов и марок, перечисленных в табл. 1 и 2, а также условия их применения в железобетонных конструкциях следует принимать согласно СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции».

Таблица 1 – Характеристики напрягаемой арматуры

Класс арматуры	Номинальный диаметр, мм	Вид арматуры	$k = f_{tk}/f_{pk}$	Нормативное сопротивление $f_{pk}(f_{0,2k})$, Н/мм ²	Расчетное сопротивление f_{pd} , Н/мм ²
S540	16–36	Стержневая	1,0	540	430
S800	10–32	“	1,1	800	640
S1200	10–32	“	1,1	1200	960
S1400	3–5	Проволочная	1,1	1400	1120
S1400	9–15	Канатная	1,1	1400	1120

Таблица 2 – Напрягаемая арматура

Класс арматуры по СНБ 5.03.01	Обозначение согласно изменению № 4 СНиП 2.03.01	Обозначение согласно СНиП 2.03.01	Документ, регламентирующий качество арматуры, по СНБ 5.03.01	Документ, регламентирующий качество арматуры	Вид и профиль арматуры
S540	A400B	A-IIIb	—	СТБ 1701	Стержневая периодического кольцевого профиля
S800	A800	A-V	ГОСТ 5781 ТУ РБ 400074854.025	ГОСТ 5781	Стержневая периодического кольцевого профиля
S800	A800	A-V	ГОСТ 10884 ТУ РБ 400074854.001 ТУ РБ 400074854.037	СТБ 1706	Стержневая периодического серповидного профиля
S1200	A1200	A-VII	ГОСТ 10884 ТУ РБ 400074854.037	СТБ 1706	Стержневая периодического серповидного профиля
			ТУ РБ 400074854.025	—	Стержневая периодического кольцевого профиля
S1400	—	—	—	СТБ 1706	Проволочная гладкая Проволочная с вмятинами
	Ø3, Ø4, Ø5 B-II	Ø3, Ø4, Ø5 B-II	ГОСТ 7348	ГОСТ 7348	Проволочная гладкая
	Ø3, Ø4, Ø5 Bp-II	Ø3, Ø4, Ø5 Bp-II			Проволочная с вмятинами
	K-7	K-7	ГОСТ 13840	ГОСТ 13840	Канаты
	K-19	K-19	ТУ 14-4-22	ТУ 14-4-22	Канаты

Примечание к таблице 2. Модуль упругости стали класса S540 (A400B; A-IIIb) – $E = 1,8 \cdot 10^5$, Н/мм²;

для классов S800 и S1200 – $E = 1,9 \cdot 10^5$, Н/мм²;
 для класса S1400 (проволока) – $E = 2,0 \cdot 10^5$, Н/мм²;
 для класса S1400 (канаты) – $E = 1,8 \cdot 10^5$, Н/мм².

Таблица 3 – Сортамент арматурной стали

Номинальный диаметр (условный), мм	Счетная площадь поперечного сечения, см ²	Теоретическая масса 1 пог. м., кг	Номинальный диаметр (условный), мм	Счетная площадь поперечного сечения, см ²	Теоретическая масса 1 пог. м., кг
1. Стальная арматура					
5,5	0,237	0,186	28	6,160	4,830
6	0,283	0,222	32	8,040	6,310
8	0,503	0,395	36	10,180	7,990
10	0,785	0,617	40	12,570	9,870
12	1,131	0,888	45	15,00	12,480
14	1,54	1,210	50	19,630	15,410
16	2,01	1,580	55	23,760	18,650
18	2,54	2,000	60	28,270	22,190
20	3,14	2,470	70	38,480	30,205
22	3,80	2,980	80	50,270	39,460
25	4,91	3,850			
2. Арматурная проволока					
3	0,071	0,056	6	0,283	0,222
4	0,126	0,099	7	0,385	0,302
4,5	0,159	0,125	8	0,503	0,395
5	0,196	0,154			
3. Арматурные канаты					
К-7			К-19		
6	0,23	0,184	14	1,287	1,010
9	0,53	0,419			
12	0,93	0,736			
15	1,39	1,099			

Операционный контроль качества напрягаемой арматуры включает проверку:

- 1) механических свойств стали после электронагрева при электротермическом и электротермомеханическом способах натяжения;
- 2) механических свойств арматуры при разбраковке неизвестных партий стали, в спорных ситуациях и при оценке качества готовых железобетонных конструкций неразрушающими методами или путем контрольных испытаний.

Операционный контроль напрягаемой арматурной стали осуществляется

путем проверки ее количества и размеров требованиям проекта, а также выборочных испытаний на растяжение при электротермическом и электротермомеханическом способах натяжения.

Для проверки механических свойств рабочей напрягаемой арматуры после электронагрева из каждой партии отбирают не менее двух прутков стали одного диаметра массой не более 70 т, которые нагревают до заданной температуры строго по технологии, принятой на данном предприятии. Затем от каждого прутка нарезают по два образца для испытаний на растяжение: один - от ненагретого конца (исходная сталь), другой - из зоны электронагрева.

При применении электротермического способа натяжения термомеханически и термически упрочненной арматуры число контрольных образцов должно быть больше и составлять два образца от каждой партии с каждого поста электронагрева.

Испытания на растяжение проводят по ГОСТ 12004 с определением временного сопротивления, условного (или физического) предела текучести и относительного удлинения которые должны быть не менее, приведенных в таблице 1.

2. Механический способ натяжения арматуры

1. Механическое натяжение стержневой и проволочной арматуры может осуществляться: по одному стержню; по группам стержней; непрерывной навивкой,

2. Натяжение арматуры может осуществляться: с контролем задаваемого усилия; с контролем задаваемого удлинения.

3. При натяжении арматуры по одному стержню или группам стержней с контролем задаваемого усилия величина предварительного напряжения может обеспечиваться:

1) по показаниям манометра гидродомкрата;

2) по показаниям динамометра, включенного в силовую цепь гидродомкрата или напрягаемого стержня.

4. При групповом натяжении арматуры с контролем по удлинению величина задаваемого удлинения может обеспечиваться:

1) величиной перемещения натяжного устройства (захвата, траверсы);

2) длиной арматурных заготовок при фиксированном (нерегулируемом) ходе натяжного устройства.

5. Механическое натяжение арматуры рекомендуется производить гидравлическими домкратами и специальными установками для непрерывной навивки. Допускается использовать для этих целей лебедки с динамометром и грузовые устройства с системой блоков и рычагов.

Выбор способа натяжения арматуры (по одному элементу или по группе стержней) следует осуществлять в зависимости от вида конструкции, расположения в ней напрягаемой арматуры, количества натягиваемых арматурных элементов и наличия оборудования необходимой мощности.

При концентрированном расположении арматуры по сечению изделия рекомендуется применять групповое натяжение арматуры.

6. Если невозможно обеспечить предельное отклонение длины отдельных арматурных элементов $\pm 0,03 \Delta l$ (при Δl - величине упругого удлинения арматуры при натяжении), рекомендуется до группового натяжения выполнить предварительную подтяжку каждого арматурного элемента с усилием, не превышающим 10 % проектного.

7. Натяжение арматуры на стендах или силовых формах рекомендуется производить в два этапа:

1) на первом этапе арматуру натягивают с усилием, равным 40...50 % заданной проектной величины, с проверкой правильности расположения напрягаемой арматуры, установкой закладных деталей, каркасов и сеток и окончательной сборкой формы;

2) на втором этапе арматура натягивается до проектной величины усилия с перетяжкой на 10 %, выдерживается в течение 3...5 мин, после чего усилие снижается до проектной величины.

8. Величина контролируемого напряжения должна соответствовать проекту. Требования к контролю напряжений и допускам приведены в п. 6.

9. При натяжении арматуры по одному стержню потери напряжения в стержнях от деформации формы необходимо компенсировать увеличением начального усилия натяжения на величину, теряемую от деформации формы.

10. В формах с подобранным положением центральной плоскости, которые не изгибаются при передаче на них натяжения, арматурные элементы, симметрично расположенные относительно точки приложения равнодействующей усилий в напрягаемой арматуре, рекомендуется натягивать попарно.

11. При групповом натяжении арматуры с контролем по удлинению расчет величины необходимого эффективного перемещения натяжного устройства (т.е. без учета свободного хода) следует осуществлять по формуле

$$l = \Delta l_0 + \Delta l_\phi + \Delta l_c, \quad (1)$$

где Δl_0 - требуемое удлинение арматуры, мм;

Δl_ϕ - величина продольной деформации формы, поддона или стенда, мм;

Δl_c - суммарная величина деформации временных концевых анкеров, мм.

Значения Δl_ϕ и Δl_c принимаются согласно (п. 4.1, п/п №10; см. далее) Значение l , рассчитанное по формуле (1), уточняется в процессе освоения технологии натяжения.

12. Значение требуемого удлинения арматуры Δl_0 определяется по формуле

$$\Delta l_0 = K_l \cdot \varepsilon_s \cdot l_3, \text{ мм} \quad (2)$$

l_3 - длина арматурной заготовки (расстояние между опорными поверхностями концевых анкеров), мм.

где K_1 - коэффициент, учитывающий погрешность измерительного инструмента, принимаемый: $K_1 = 1$ — при регулируемой величине перемещения натяжного устройства, $K_1 = 1,05$ - при фиксируемой величине перемещения натяжного устройства;

ε_s - относительное удлинение арматуры ($\varepsilon_s = \Delta/l$), определяемое по формуле (3) на основе данных среднестатистической диаграммы растяжения стали:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{sel} + \varepsilon_{spl} = \frac{P_d(\sigma_{sp})^*}{f_{0,2k}(\sigma_{0,2})^*} + m_t \left(\frac{P_d(\sigma_{sp})^* - \eta_1}{f_{0,2k}(\sigma_{0,2})^*} \right)^3 \quad (3)$$

При $P_d(\sigma_{sp})^* \leq \eta_1 f_{0,2k}(\sigma_{0,2})^*$, $\varepsilon_s = \frac{P_d(\sigma_{sp})^*}{E_s}$

где $P_d(\sigma_{sp})^*$ - величина контролируемого напряжения в арматуре, Н/мм²;

E_s - начальный модуль упругости, Н/мм²;

$f_{0,2k}(\sigma_{0,2})^*$ - среднестатистическое значение условного предела текучести, Н/мм²;

η_1 - среднее значение относительного предела упругости;

ε_{sel} - упругая деформация;

ε_{spl} - условно-мгновенная пластическая деформация;

m_t - коэффициент, определяемый по формуле

$$m_t = \frac{0,002}{(1-\eta)^3} \quad (4)$$

□ Здесь и далее – это символы прежних, но используемых в технической литературе и замененных на территории Беларуси обозначений.

Среднестатистические показатели диаграммы растяжения напрягаемой арматурной стали приведены в таблице 4.

Таблица 4 – расчетные данные о напрягаемой стали

Арматура	η_1	$f_{0,2k}(\sigma_{0,2})$, Н/мм ²	$f_{tk}(\sigma_b)$, Н/мм ²
S540 (A400B; A-IIIb)	0,75	540	590
S800 (A800; A-V)	0,65	800	965
S1200 (A1200; A-VII)	0,60	1200	1300
S1400 (проволока)	0,70	1400	1460
S1400 (канаты)	0,60	1400	1500

Допускается определять требуемое удлинение арматуры Δl_0 по формуле

$$\Delta l_0 = K K_1 \cdot P_d \cdot l_3 / E_s, \text{ мм} \quad (5)$$

где K - коэффициент, учитывающий упругопластические свойства арматуры при механическом натяжении и определяемый по табл. 1;

P_d (σ_{sp}) - проектное значение предварительного напряжения, принимаемое согласно рабочим чертежам или стандартам на изделия;

E_s - модуль упругости напрягаемой арматуры (см. табл. 2; примечание).

13. При групповом натяжении с фиксированной (нерегулируемой) величиной перемещения натяжного устройства обеспечить требуемую точность предварительного напряжения арматуры сложнее, чем при натяжении с регулируемым ходом натяжного устройства или с контролем по показаниям манометра.

Поэтому поддержание требуемой точности натяжения арматуры рекомендуется осуществлять по методике, аналогичной установленной для электротермического способа натяжения.

14. Для механического натяжения арматуры могут применяться гидравлические домкраты по ГОСТ 9828 (табл. 5), выпускаемые машиностроительными заводами.

Кроме перечисленных в табл. 5 специальных типов гидродомкратов для натяжения арматуры могут применяться и другие типы после их приспособления для этих целей, в частности, грузовые гидродомкраты СМЖ-157Б и СМЖ-158Б с ходом поршня 160 мм, максимальным усилием натяжения 1000 и 2000 кН и рабочим давлением 50 МПа.

15. Натяжение арматуры диаметром 10...20 мм осуществляется групповым способом либо путем переоборудования захватного устройства.

Для натяжения отдельных арматурных стержней, закрепляемых с помощью зажимов, домкраты должны быть оборудованы соответствующими приспособлениями.

16. Приведение в действие гидродомкратов осуществляется насосными станциями (табл. 6).

17. При выборе гидравлического домкрата его тяговое усилие следует принимать на 15...20% больше проектного усилия натяжения арматуры, что позволяет производить рекомендуемую перетяжку арматуры на 10% и учитывать коэффициент полезного действия гидродомкрата, равный 0,94...0,96.

Таблица 5 – Технические характеристики гидродомкратов для натяжения арматуры

Показатель	СМЖ-737	СМЖ-738	СМЖ-84А	СМЖ-86А
Максимальное усилие натяжения, кН	1000	630	1000	25
Рабочий ход поршня, мм	320	320	1120	80
Диаметр арматуры, мм	28...40	5	22...36	5
Число одновременно натягиваемых стержней	1	До 24	1	1
Установленная мощность,	-	-	7,5	2,2
Рабочее давление, МПа	40	32	-	-
Усилие запрессовки пробки, кН	-	270	-	-
Ход поршня запрессовки, мм	-	50	-	-
Габариты, мм:				
длина	1130	830	1630	2200
ширина	380	250	320	620
высота	290	270	350	2700
Масса, кг	160	75	550	220
Насосная станция	СМЖ-737-01	СМЖ-737-01	СМЖ-83А	НСР-400М

Таблица 6 – Технические характеристики насосных станций

Показатели	СМЖ-737.01	СМЖ-33А	НСР-400М
Привод	электрический	электрический	ручной
Производительность, л/мин	3,2	1,6	3 и 8см за один двойной ход рукоятки
Вместимость бака, л	40	10	10
Рабочее давление, МПа	50	40	40
Установленная мощность, кВт	4	2,2	-
Грузоподъемность лебедки, кг	-	100	100
Габариты, мм: длина ширина высота	1280 550 510	900 590 2000	1780(с рычагом) 591 2200
Масса, кг	220	136	121

Таблица 7 – Характеристика гидравлических манометров

Единица измерения, МПа	Цена деления шкалы, МПа, приборов классов		
	1,0	1,5	2,5
2,5	0,02	0,05	0,05
4,8	0,05	0,1	0,1
6,0	0,05	0,1	0,1
10,0	0,1	0,1	0,2
15,0	0,2	0,5	0,5
25,0	0,2	0,5	0,5
45	0,5	по	1,0
65	0,5	1,0	1,0

18. Тяговое усилие домкрата для натяжения арматуры, кН, рекомендуется определять по формуле

$$P_T = K_2 n P_n / \eta \quad (6)$$

где K_2 - коэффициент, учитывающий возможную технологическую перетяжку, равный 1,1;

n - количество одновременно натягиваемых стержней или групп стержней;

P_n - проектное усилие натяжения стержня или групп стержней;

η - коэффициент полезного действия гидродомкрата, применяемый для расчета равным 0,94...0,96.

Ход поршня определяется по формуле

$$S = (0,008 \dots 0,012) \cdot l_3, \text{ мм} \quad (7)$$

где l_3 - длина натягиваемой арматуры между опорными поверхностями временных концевых анкеров, мм.

Техническую производительность домкрата можно определить исходя из времени натяжения арматуры и возврата натяжного устройства в исходное положение, с:

$$t = S_n / V_n + S_n / V_v \quad (8)$$

где S_n - длина вытяжки арматуры, которой соответствует рабочий ход натяжного устройства, мм;

V_n, V_v - скорости натяжения арматуры и возврата натяжного устройства в исходное положение, мм/с.

19. Для обеспечения требуемой точности натяжения арматуры применяемые домкраты должны быть проградуированы.

Градуировку необходимо производить с помощью образцовых динамометров класса 0,5 ... 1,0 не реже 1 раза в 6 месяцев.

20. Градуировать домкраты следует с теми же манометрами и насосной станцией, которые будут эксплуатироваться в производственных условиях. Манометры домкратов должны быть проверены.

Перед градуировкой необходимо 3...5 раз опрессовать насосную станцию, манометр и домкрат под давлением, превышающим на 10% максимальное давление, указанное в паспорте домкрата и насосной станции. Опрессовочное давление следует выдерживать каждый раз не менее 5 мин. Допускаемое при этом падение давления должно достигать не более 2...3% опрессовочного.

У гидродомкрата, установленного для градуирования, поршень должен быть смещен от крайнего положения на 1 / 5 своего хода.

Поднимать давление в цилиндре домкрата рекомендуется ступенями около 0,1 номинального наибольшего давления, указанного в паспорте домкрата.

Окончательные результаты градуировки оформляют в виде таблиц и графиков как среднее арифметическое из трех показаний, следующих друг за другом одинаковых нагружений. Таблицы и графики должны содержать соотношения между величиной давления по показаниям домкрата и усилиями натяжения по образцовому динамометру.

21. Натяжение арматуры с контролем по показаниям манометра с целью исключения влияния непостоянства сил внутреннего трения домкрата следует производить методом прямого и обратного хода. Для этого поднимают давление масла в цилиндре домкрата до значения q_1 , на 3...10 % большего подсчитанного по площади поршня F , без учета сил трения. Постепенно выпуская масло из цилиндра, фиксируют величину давления q_2 , при котором начинается перемещение поршня в обратном направлении (не более 1% задаваемого удлинения). Фактическое усилие натяжения арматуры определяется по формуле

$$P_{\phi} = F \frac{q_1 + q_2}{2}, \text{ кН.} \quad (9)$$

22. Рекомендуется контроль величины усилия натяжения по показаниям манометра дублировать контролем величины удлинения арматуры, которое не должно отличаться от расчетного при данном усилии натяжения более чем на 10 %. Если расхождение составит более 10 %, необходимо выявить и устранить причины этого, и лишь затем продолжать натяжение.

23. При использовании гидравлических домкратов для натяжения арматуры цена деления шкалы манометра не должна превышать 1 / 20 вели-

чины измеряемого давления. Максимальное давление, на которое рассчитан манометр, не должно превышать измеряемое давление более чем в 2 раза.

Выбирать манометры для гидравлических домкратов рекомендуется по табл. 7.

24. При натяжении арматурного элемента домкрат должен быть расположен так, чтобы его ось совпадала с осью арматуры или захвата на ней. Несовпадение осей может вызвать перенапряжение стали и искажение величины натяжения, а иногда и обрыв арматуры.

25. Натяжение арматуры разрешается производить только в присутствии технического персонала, осуществляющего операционный контроль. Данные контроля заносятся в специальный журнал. При натяжении с контролем удлинений фиксированным падающим стопором присутствие технического персонала не требуется.

26. Натяжение арматуры на упоры стендов и форм рекомендуется производить групповым способом одним домкратом требуемой мощности, имеющим необходимый ход поршня. При отсутствии домкрата соответствующей мощности допускается одновременное натяжение арматуры несколькими домкратами.

27. При натяжении арматуры несколькими домкратами необходимо выполнять следующие требования:

- 1) применять домкраты только одного типа и с одинаковой технической характеристикой;
- 2) домкраты должны устанавливаться симметрично относительно равнодействующей усилий натяжения с отклонениями в пределах ± 10 мм;
- 3) домкраты должны присоединяться к одной насосной станции, оснащенной манометром для измерения давления.

3. Примеры расчета

Пример 1. Определить технологические параметры механического натяжения стержневой арматуры при изготовлении железобетонных балок пролетом 18 м на коротком стенде (силовая форма).

Сталь - класса S800(A800;A-V) марки 35 ГС диаметром 18 мм; величина контролируемого (требуемого по расчету конструкции) натяжения $P_d(\sigma_{sp}) = 700 \text{ Н/мм}^2$; натяжение - гидродомкратом. Длина арматуры от захватов домкрата до захватов противоположного упора силовой формы $l_3 = 18500$ мм.

По результатам контрольных испытаний стали $f_{0,2k}(\sigma_{0,2}) = 860 \text{ Н/мм}^2$.

Определяем требуемую величину удлинения арматуры.

Для этого по табл. 2 и 4 находим

$$E_s = 1,9 \cdot 10^5, \text{ Н/мм}^2; f_{0,2k} = 800 \text{ Н/мм}^2; \eta_1 = 0,65.$$

Используя фактическое значение $f_{0,2k} = 860 \text{ Н/мм}^2$ и табличные величины, по формуле (4) определяем

$$m_t = \frac{0,002}{(1-0,65)^3} = 0,0466.$$

Подсчитываем относительное удлинение арматуры при натяжении ε_s с учетом того, что контролируемое напряжение $P_d(\sigma_{sp}) = 700 \text{ Н/мм}^2$, по формуле (3):

$$\varepsilon_s = \frac{700}{1,9 \cdot 10^5} + 0,0466 \left(\frac{700}{860} - 0,65 \right)^3 = 0,003684 + 0,000205 = 0,003889.$$

Тогда требуемое удлинение арматуры составит

$$\Delta l_0 = \varepsilon_s \cdot l = 0,003889 \cdot 18500 = 72, \text{ мм.}$$

При натяжении арматуры отдельными стержнями с контролем и по удлинению, и по усилению натяжения данный расчет достаточен, а необходимые корректировки осуществляются в процессе работ.

При натяжении арматуры с контролем по удлинению и группами стержней обязателен расчет величины эффективного перемещения натяжного устройства (без учета свободного хода), осуществляемый по формуле (1):

$$l = \Delta l_0 + \Delta l_\phi + \Delta l_c, \text{ мм,}$$

с учетом величины продольной деформации стенда (поддона, формы) Δl_ϕ , мм, а также суммарной величины деформации временных концевых анкеров Δl_c , мм, которые определяют по п/п 10, п.4.1 (см. далее).

Например, в рассматриваемом примере применены временные концевые анкеры для стержневой арматуры в виде инвентарных зажимов НИИЖБа. По табл. 14 (см. далее) и из выражения $\Delta l_c = 2S$

$$\Delta l_c = 2 \cdot 4,8 = 9,6 \sim 100 \text{ мм.}$$

Величину продольной деформации силовой формы за отсутствием фактических данных принимаем равной: $l_\phi = 5 \text{ мм}$.

Тогда величина эффективного перемещения

$$l = 72 + 10 + 5 = 87, \text{ мм.}$$

Определение тягового усилия домкрата для натяжения арматуры P_T производят по формуле (6) при установленном усилии натяжения стержня или групп стержней:

$$P_T = P_d(\sigma_{sp}) \cdot A_{sp}, \text{ кН}, \quad (10)$$

где A_{sp} - расчетная площадь поперечного сечения одновременно натягиваемой арматуры.

По табл. 3 для стержня диаметром 18 мм расчетная площадь равна 2,54 см².

Тогда тяговое усилие домкрата для натяжения одного стержня:

$$P_T = K_2 \cdot n \cdot P_T / \eta,$$

или

$$P_T = 1,1 \cdot 1 \cdot 700 \cdot 254 / 0,95 \sim 206, \text{ кН}.$$

Допустим, что в рассматриваемом случае схема армирования железобетонной балки рабочей преднапрягаемой арматурой характеризуется расположением в нижней зоне сечения 9 стержней (по 3 в ряд). При натяжении арматуры группами по 3 стержня наибольшее требуемое тяговое усилие составит

$$P_{T3} = 3 \cdot 206 = 618, \text{ кН}.$$

Определение требуемого хода поршня произведем по формуле (7):

$$S = 0,01 \cdot 18500 = 185, \text{ мм}.$$

На основании значений тягового усилия и требуемого хода поршня выбирают (по табл. 5) гидродомкрат для производства работ по натяжению арматуры. В данном примере целесообразно использовать домкрат «СМЖ-737», который характеризуется максимальным усилием натяжения в 1000 кН, обеспечивающем возможность 10%-ной перетяжки при натяжении арматуры группами по 3 стержня:

$$0,94 \cdot 100 > (618 + 0,1 \cdot 618), \text{ кН},$$

и требуемый ход поршня: $320 > 185, \text{ мм}$.

Пример 2. Определить технологические параметры механического натяжения стержней арматуры при изготовлении железобетонных ребристых плит размерами 3 x 12 м в силовых перемещаемых формах с жесткими опорами.

Сталь - класса S1200 (A1200;A-VII) марки 30 ХГС2 диаметром 14 мм; $P_d(\sigma_{sp}) = 900 \text{ Н/мм}^2$. Длина натягиваемых стержней – 12460 мм, схема армирования - один стержень на продольное ребро плиты.

Данные контрольных испытаний отсутствуют. Применены анкеры типа «обжатая обойма».

По табл. 2 и 4 устанавливаем, что $E_s = 1,9 \cdot 10^5$, Н/мм²; $\eta_1 = 0,6$;

$$f_{0,2k}(\sigma_{0,2}) = 1200 \text{ Н/мм}^2.$$

По формулам (4) и (3) определим:

$$m_t = \frac{0,002}{(1-0,6)^3} = 0,03125;$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,002}{1,9 \cdot 10^5} + 0,03125 \left(\frac{900}{1200} - 0,6 \right)^3 = 0,004737 + 0,000106 = 0,004843.$$

Требуемое удлинение арматуры будет равно

$$\Delta l_0 = 0,004843 \cdot 12460 = 60,344;$$

$$\Delta l_0 \sim 61 \text{ мм.}$$

При контроле преднапряжения по удлинению стержней эффективное перемещение натяжного устройства определяем по формуле (1) для рассматриваемого случая (с учетом данных п/п 10, п. 4.1 для анкеров «обжатая обойма»):

$$l = 61 + (2 \cdot 0,002 \cdot 900) + 3 \sim 68 \text{ мм.}$$

Требуемое тяговое усилие гидродомкрата

$$P_T = 1,1 \cdot 1 \cdot 900 \cdot 154/0,95 \sim 161 \text{ кН.}$$

Требуемый ход поршня по формуле (7)

$$S \sim 0,01 \cdot 12460 = 124,6 \sim 125, \text{ мм.}$$

Полученным расчетным данным удовлетворяют характеристики гидродомкрата «СМЖ-738», включая и вариант одновременного натяжения обеих стержней:

$$(0,94 \cdot 630) \text{ кН} > (2 \cdot 1,1 \cdot 161) \text{ кН};$$

$$320, \text{ мм} > 125, \text{ мм.}$$

Пример 3. Определить технологические параметры механического натяжения арматуры при изготовлении плит пустотного настила на длинном стенде. Схема армирования включает: нижний пояс – 5 канатов типа К – 7 диаметром 15 мм; верхний пояс – высокопрочная проволока (5 шт.) Вр-II диаметром 5 мм. Длина натягиваемой арматуры – 122000 мм.

Величина контролируемого натяжения для канатов нижнего пояса соответствует $P_d(\sigma_{sp}) = 880 \text{ Н/мм}^2$, а проволоки верхнего пояса $P_d(\sigma_{sp}) = 1000 \text{ Н/мм}^2$.

По результатам контрольных испытаний арматуры определено, что для канатов $f_{tk}(\sigma_B) = 1730 \text{ Н/мм}^2$, для проволоки $f_{tk}(\sigma_B) = 1700 \text{ Н/мм}^2$. В обоих случаях определить $f_{0,2k}(\sigma_{0,2})$ не могли. На этом основании расчет следует вести по данным табл. 4.

Кроме того, поскольку по формуле (3) $P_d(\sigma_{sp})$ меньше, чем $f_{tk}(\sigma_B) \cdot \eta_1$, а именно:

для канатов

$$880 < 0,6 \cdot 1500;$$

для проволоки

$$1000 < 0,7 \cdot 1460,$$

то расчет ведется без учета неупругих деформаций стали.

Определим относительное удлинение арматуры при натяжении:

для канатов

$$\varepsilon_s = 880 / 1,8 \cdot 10^5 = 0,004889;$$

для проволоки

$$\varepsilon_s = 1000 / 2,0 \cdot 10^5 = 0,005.$$

Требуемое удлинение арматуры:

канатов:

$$\Delta l_0 = 0,004889 \cdot 122000 = 596 \text{ мм};$$

проволоки:

$$\Delta l_0 = 0,005 \cdot 122000 = 610 \text{ мм}.$$

Определим величину эффективного перемещения натяжного устройства при групповом способе натяжения канатной и проволочной арматуры.

Для натяжения обоих видов арматуры применены временные концевые анкеры в виде инвентарных зажимов НИИЖБа. По табл. 14 и формуле $\Delta l_c = 2S$:

для канатов:

$$\Delta l_c = 2 \cdot 4,8 = 9,6 \sim 10 \text{ мм};$$

для проволоки:

$$\Delta l_c = 2 \cdot 3 = 6 \text{ мм}.$$

Деформации упоров стенда Δl_{ϕ} за отсутствием фактических данных примем равными в обоих случаях: $\Delta l_{\phi} = 5$ мм.

Эффективное перемещение натяжного устройства составит по формуле (1):

для канатов

$$l = 596 + 10 + 5 = 611 \text{ мм};$$

для проволоки

$$l = 610 + 6 + 5 = 621 \text{ мм}.$$

Определим необходимое тяговое усилие машины для группового натяжения арматуры по формуле (6) и значению A_s (табл. 3):

для канатов

$$P_T = 1,1 \cdot 5 \cdot 880 \cdot 139 / 0,95 = 708 \text{ кН};$$

для проволоки

$$P_T = 1,1 \cdot 5 \cdot 1000 \cdot 19,6 / 0,95 = 113 \text{ кН}.$$

1. Расчетным параметрам натяжения арматуры соответствует (табл. 5) гидродомкрат СМЖ-84А ($P_T = 1000$ кН; $l = 1120$ мм).

4. Натяжение арматуры электротермическим способом

4.1. Общие требования

1. Сущность электротермического способа натяжения арматуры заключается в том, что арматурные заготовки, нагретые электрическим током до требуемого удлинения, фиксируются в таком состоянии в жестких упорах, которые препятствуют укорочению арматуры при остывании. Благодаря этому в арматуре возникают заданные напряжения.

Нагрев арматурных заготовок производится электрическим током большой плотности. Арматурные заготовки, предназначенные для натяжения их на упоры форм, поддонов, коротких стендов, снабжаются по концам временными анкерами, расстояние между опорными плоскостями которых на заданную величину меньше расстояния между наружными гранями упоров. Удлинение заготовок при электроразогреве должно обеспечивать свободную укладку их в нагретом состоянии в упоры.

2. Натяжение стержневой и проволочной арматуры электротермическим способом может производиться на формах, поддонах и т.п., а ее нагрев - вне формы или на месте натяжения. Рекомендуется осуществлять нагрев арматуры вне формы.

3. Изготовление предварительно напряженных многопустотных панелей и плит перекрытий сплошного сечения рекомендуется осуществлять с заготовкой и натяжением электротермическим способом стержневой арматурной стали класса S800 (A800; A-V).

4. При электротермическом способе натяжения во избежание снижения условного предела текучести и временного сопротивления нагреваемой арматуры температура нагрева не должна превышать величин, указанных в табл. 10.

Время нагрева в пределах 0,5... 10 мин не оказывает существенного влияния на свойства как горячекатанной, так и термически упроченной стержневой арматурной стали. Однако с целью повышения производительности труда и уменьшения расхода электроэнергии рекомендуется принимать время нагрева 1...3 мин.

Время нагрева высокопрочной проволоки влияет на механические характеристики этой стали. При длительном нагреве механические характеристики понижаются более, чем при кратковременном. Поэтому время нагрева проволочной арматуры не должно превышать величин, указанных в табл. 10.

Температура нагрева должна контролироваться по удлинению стали.

Допускается также для контроля температуры использовать термопары, термокарандаши и другие приборы, обеспечивающие измерение температу-

ры с максимальной ошибкой не более ± 20 °С и не препятствующие осуществлению технологических операций по нагреву и натяжению арматуры.

Таблица 10 – Рекомендуемые и максимально допустимые температуры и время электронагрева арматурной стали

Класс арматурной стали	Температура электронагрева		Рекомендуемое время нагрева, мин
	рекомендуемая	максимально допустимая	
S540 (A400;A-IIIВ)	400	500	
S800 (A800;A-V)	450	500	
S1200 (A1200;A-YII)	400	450	0,5-5,0
S1400 (B-II;Bp-IIВ) Ø3	-	350	0,1 - 0,5
Ø4	-	400	0,1 - 0,6
Ø5	-	450	0,1 - 1,0

Примечание. При необходимости увеличения предварительного напряжения электротермическим способом стали классов S800 до 800 Н/мм², S1200 – до 1000 Н/мм² можно повышать максимально допустимые температуры электронагрева стали этих классов до 500°С при автоматизированной технологии натяжения и контроля температуры нагрева.

5. При натяжении стержневой арматуры классов и марок, указанных в п. 1.2, электротермическим способом величина $P_d(\sigma_{sp}) + p$ не должна приниматься более предела текучести ($f_{0,2k}(\sigma_{0,2})$ или σ_T) арматуры, где p - предельное допустимое отклонение величины $P_d(\sigma_{sp})$, значения которого для изделий различной длины указаны в табл. 11.

При натяжении электротермическим способом арматуры из высокопрочной проволоки класса Bp-II величина $P_d(\sigma_{sp}) + p$ должна приниматься не более 0,7 от предела текучести ($f_{0,2k}(\sigma_{0,2})$) арматуры.

6. Величины $P_d(\sigma_{sp})$ и p необходимо указывать на рабочих чертежах изделий.

При применении стержней и проволочной арматуры на рабочих чертежах изделий должна быть указана также учтенная в расчете температура нагрева этой арматуры при натяжении.

Таблица 11 – Допустимые отклонения предварительного напряжения от заданного

Длина изделия l_n , м	Верхнее и нижнее предельные отклонения $\pm p$, Н/мм ² , заданного предварительного напряжения арматуры σ_{sp}
5	$\pm 100,0$
6,5	$\pm 80,0$
9,5	$\pm 70,0$
13	$\pm 60,0$
16	$\pm 55,0$
19	$\pm 50,0$
25 и более	$\pm 45,0$

Примечания:

1. При изготовлении нескольких изделий, расположенных в одну линию с арматурой, проходящей через все эти изделия, величина l_u принимается равной суммарной длине изделий в линии.

2. При промежуточных значениях l_u величина p определяется по линейной интерполяции.

7. В арматуре, которая натягивается на упоры электротермическим способом, не учитываются потери предварительного напряжения от деформации концевых анкеров и форм, так как они должны быть учтены при определении длины арматурной заготовки и величины полного удлинения арматуры.

8. Отклонение предварительного напряжения арматуры изделия от заданного учитывается только величиной коэффициента точности натяжения γ_{sp} .

Если неблагоприятным фактором является снижение предварительного напряжения арматуры по сравнению с заданной величиной $P_d(\sigma_{sp})$ (расчет жесткости, трещиностойкости и ширины раскрытия трещин зоны, в которой расположена данная напряженная арматура, и т. д.), то значение γ_{sp} вычисляется по формуле

$$\gamma_{sp} = 1 - 0,5 \frac{p}{P_d(\sigma_{sp})} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}} \right), \quad (11)$$

где $P_d(\sigma_{sp})$ - не более 0,9;

n - количество стержней арматуры в элементе конструкции (в ребре плиты, поясе фермы и т. п.)

Если неблагоприятным фактором является превышение предварительного напряжения арматуры по сравнению с заданной величиной (расчет прочности при действии сил обжатия зоны сечения, в которой расположена дан-

ная напряженная арматура, расчет трещиностойкости противоположной по высоте сечения зоны и т.п.), то значение γ_{sp} вычисляется по формуле

$$\gamma_{sp} = 1 + 0,5 \frac{p}{P_d(\sigma_{sp})} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right), \quad (12)$$

где $P_d(\sigma_{sp})$ - не менее 1,1. При вычислении γ_{sp} принимается верхнее предельное отклонение p (см. табл. 11).

9. Величина предварительного напряжения при электротермическом способе натяжения достигается путем обеспечения заданного удлинения арматуры Δl_0 , величина которого определяется по формуле

$$\Delta l_0 = \left(\frac{K \cdot \rho_d(\sigma_{sp}) + p}{E_s} \right) \cdot l_y, \quad (13)$$

где E_s - начальный модуль упругости (см. прим. к табл. 2, п. 1.2), Н/мм²;

l_y - расстояние между наружными гранями упоров на форме, поддоне или стенде, мм;

K - коэффициент, учитывающий упругопластические свойства стали и определяемый согласно данным табл. 12;

p - предельно допустимое отклонение величины предварительного напряжения арматуры от заданного, принимается по табл. 11, Н/мм².

10. Величина полного удлинения арматуры при ее электронагреве определяется по формуле

$$\Delta l_{\pi} = \Delta l_0 + \Delta l_c + \Delta l_{\phi} + \Delta l_n + C_t \quad (14)$$

где Δl_c - величина смещения губок инвентарных зажимов относительно корпуса, деформации шайб под высаженными головками, смятие высаженных головок, опрессованных шайб и т.п., мм;

Δl_{ϕ} - продольная деформация формы, поддона или стенда, мм;

C_t - дополнительное удлинение, обеспечивающее свободную укладку арматурного стержня в упоры с учетом остывания при переносе, принимаемое не менее 0,5 мм на 1 м длины арматуры, мм;

Δl_n - остаточная деформация, возникающая вследствие нагрева высокопрочной проволоки, определяемая по формуле

$$\Delta l_n = 5 \cdot 10^{-6} (t_p - 300) l_y, \quad (15)$$

где l_y - расстояние между наружными гранями упоров на формах, поддонах и инвентарных стендах, мм;

t_p - заданная температура нагрева, °С.

Таблица 12 – Значения коэффициента К

Контролируемое предварительное напряжение $P_d(\sigma_{sp})$, Н/мм ²	коэффициента К для стали классов					
			S540 (A400; A-IIIв)	S800 (A800; A-У)		S1200 (A1200; A-УII), S1400(Bp-II)
400	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
500	1,05	1,0	1,05	1,0	1,0	1,0
600	1,15	1,2	1,2	1,05	1,0	1,0
700	-	-	-	1,1	1,05	1,0
800	-	-	-	1,15	1,1	1,05
900	-	-	-	-	1,2	1,1

Примечание Промежуточные значения К принимаются по линейной интерполяции.

Таблица 13 – Коэффициенты линейного расширения стержней и проволочной арматуры

Температурный интервал, °С	Коэффициенты линейного расширения ($\alpha \cdot 10^6, 1/^\circ\text{C}$) арматуры		
	горячекатаной классов S540 (A-400в, A-IIIв)	термомеханически упрочненной классов S800 и S1200	высокопрочной проволоки класса S1400 (Bp-II, B-II)
20-300	13,2	12,5	13,0
20-350	13,5	13,0	13,4
20-400	13,8	13,5	13,8
20-450	14,2	14,0	14,1
20-500	14,5	-	14,5

При t_p , равной или меньшей 300°C , $\Delta l_n = 0$. Для стержней арматуры всех классов и марок, указанных в п. 1 (2) настоящего примечания, $l_n = 0$.

Значения величин Δl_c , Δl_ϕ , C_t , определяются в каждом случае опытным путем исходя из конкретных условий производства.

Допускается при предварительных расчетах принимать величину Δl_c для изделий данной примерно 6 м суммарно на оба анкера:

$$\Delta l_c = 2m \cdot P_d(\sigma_{sp}) \quad (16)$$

где $m = 0,002 \text{ мм}^3/\text{Н}$ для анкеров типа «обжатая обойма»;

$m = 0,003 \text{ мм}^3/\text{Н}$ для анкеров типа «высаженная головка».

При применении временных концевых анкеров для стержневой арматуры в виде инвентарных зажимов НИИЖБа значение Δl_c допускается определять в соответствии с данными табл. 14 по формуле

$$l_c = 2S, \quad (17)$$

где S - смещение губок зажима относительно его корпуса, мм.

Сближение упоров формы Δl_ϕ на уровне центра тяжести напрягаемой арматуры после натяжения всей арматуры должно указываться в рабочих чертежах формы и проверяться опытным путем при натяжении арматуры.

Для предварительных расчетов при длине изделий 6...12 м l_ϕ допускается принимать:

1...3 мм - для формы с жесткими упорами;

3...4 мм - для форм с поворотными упорами.

11. Для свободной укладки напрягаемой стержневой и проволочной арматуры в упоры форм, поддонов или стендов величина полного удлинения арматуры Δl_n , должна приниматься равной или меньшей, чем удлинение арматуры в результате нагрева ее до заданной температуры Δl_n которое вычисляется по формуле

$$\Delta l_t = (t_p - t_0) l_k \alpha \quad (18)$$

где t_p - заданная температура нагрева, которую следует, как правило, принимать равной рекомендуемой температуре нагрева (см. табл. 10), °С;

t_0 - температура окружающей среды, °С;

l_k - расстояние между токопроводящими контактами (длина нагреваемого участка арматуры), мм;

α - коэффициент линейного расширения стали (табл 13). Величина температуры, требуемая для нагрева и натяжения арматуры до заданного напряжения, определяется по формуле

$$t_p > \frac{\Delta l_n}{\alpha \cdot l_k} + t_0, \quad (19)$$

Таблица 14 – Смещение губок зажимов в зависимости от вида арматуры и ее напряжения

Диаметр арматуры	Величина смещения губок зажима S, мм			
	Стержневая арматура классов S540...S1200		канаты	
	при $P_d(\sigma_{sn}) = 320$ МПа	при $P_d(\sigma_{sn}) = 720$ МПа	при $P_d(\sigma_{sn}) = 0,5 f_{0,2k}(\sigma_{0,2})$	при $P_d(\sigma_{sn}) = 0,9 f_{0,2k}(\sigma_{0,2})$
1	2	3	4	5
6	-	-	2,2	3,0
9	-	-	2,6	3,5
10	2,0	3,0	-	-
12	2,3	3,3	3,0	4,0
14	2,3	3,3	-	-
15	-	-	3,5	4,8
16	3,0	4,3	-	-
18	3,3	4,8	-	-
20	3,6	5,4	-	-
22	4,0	5,8 1	-	-
25	4,4	6,6	-	-
28	4,9	7,4	-	-
32	5,4	8,2	-	-
36	6,0	9,8	-	-
40	6,6	9,8	-	-

Примечание. При напряжениях, отличающихся от указанных в таблице, значение S определяют линейной интерполяцией.

4.2. Определение длины арматурной заготовки

12. Требуемая длина отрезаемого стержня арматурной стали

$$l_0 = l_3 + 2 \alpha \quad (20)$$

где l_3 - длина арматурной заготовки, равная расстоянию между опорными поверхностями временных концевых анкеров, мм;

α - длина конца стержня, используемая для установки или образования временного концевого анкера, мм.

Для обжатых шайб $a > H + 10$ мм, где H - толщина шайбы после опрессовки. Для высаженных головок $a = 2,5d + 10$ мм, где d - диаметр арматуры.

Для приваренных коротышей и инвентарных зажимов величина a определяется длиной коротышей или зажимов.

Таблица 15 – Допустимые предельные отклонения фактического удлинения натянутой арматуры от расчетного Δl_0

Расстояние между упорами форм l_y , м	Предельные отклонения фактического удлинения натянутой арматуры от расчетного Δl_0 мм		
	при контроле упоров форм и арматурных заготовок по шаблону		при контроле упоров форм и арматурных заготовок путем измерений
	верхнее	нижнее	
5	0	-4	± 2
6,5	0	-4	± 2
9,5	0	-6	± 3
13	0	-7	$\pm 3,5$
16	0	-8	± 4
19	0	-9	$\pm 4,5$
25 и более	0	-10	± 5

Примечания:

1. При промежуточных значениях l_y , отличающихся более чем на 0,5 м от указанных, величины предельных Отклонений l_n определяются по линейной интерполяции.

2. Приведенные значения предельных отклонений даны с доверительной погрешностью 0,05.

13. Длина арматурной заготовки определяется по формуле

$$l_3 = l_y - \Delta l_c - \Delta l_\phi - \Delta l_0 \quad (21)$$

где значения l_y , Δl_c , Δl_ϕ , Δl_0 , и l_y принимаются согласно п/п 10, п. 4.1.

14. Для обеспечения требуемой точности предварительного напряжения арматуры необходимо, чтобы предельное отклонение фактического удлинения натянутой арматуры от расчетного не превышало значений, приведенных в табл. 15.

Эти значения могут быть выдержаны, если установка упоров на формах, поддонах или стендах, а также установка или образование на концах арматурных заготовок временных анкеров производится с применением жестких шаблонов.

Допустимое предельное отклонение расстояния между опорными плоскостями временных анкеров арматурной заготовки определяют по табл. 16.

Таблица 16 – Предельное отклонение расстояния между опорами кондукторов и опорными поверхностями анкеров арматурных заготовок

Расстояние между контролируемыми плоскостями, м	Предельное отклонение, мм, расстояний между			
	упорами кондукторов или парами контактных зажимов машин для высадки головок		опорными поверхностями анкеров арматурных заготовок	
	при контроле по шаблону	при контроле путем измерений шкальными приборами	при контроле по шаблону	при контроле путем измерений шкальными приборами
5,0	+0	±0,5	+3	±1,5
	-1		-0	
6,5	+0	±0,5	+3	±1,5
	-1		-0	
9,5	+0	±1,0	+4	±2,0
	-2		-0	
13,0	+0	±1,5	+6	±3,0
	-3		-0	
16,0	+0	±1,5	+6	±3,0
	-3		-0	
19,0	+0	±2,0	+9	±4,5
	-4		-0	
25,0 и более	+0	±2,0	+9	±4,5
	-4		-0	

Примечание. При промежуточных значениях величин контролируемых расстояний, отличающихся более чем на 0,5 м от указанных, значения величин предельных отклонений определяются по линейной интерполяции.

15. Нижнее предельное отклонение фактического удлинения натянутой арматуры от расчетного равно допуску D^* , который определяется по формуле

$$D = d_y + d_3 \quad (22)$$

где d_y - допуск, установленный на размер l (расстояние между опорными поверхностями упоров форм);

d_3 - допуск, установленный на размер l_3 (расстояние между опорными поверхностями временных концевых анкеров арматурных заготовок).

Рекомендуется применять $d_y \approx d_3$. При соответствующем обосновании разрешается принимать соотношение между d_y и d_3 , отличное от указанного выше, при условии, что сумма их абсолютных величин не должна превышать значений, указанных в табл. 15.

16. В начальный период освоения производства изделия по принятой величине l_0 производят подготовку и натяжение серии стержней с проверкой величины предварительного натяжения в них после остывания.

Измерения предварительных напряжений рекомендуется производить на нескольких формах при возможно большем числе стержней или прутков проволоки каждой формы.

По результатам измерений корректируют величину l_0 , изменяя длину арматурных заготовок таким образом, чтобы фактические величины предварительных напряжений не всходили за пределы отклонений, указанных в табл. 11 настоящего приложения.

В дальнейшем систематический заводской контроль величины натяжения арматуры состоит в проверке соблюдения окончательно принятых размеров l_y , Δl_c , Δl_f , Δl_0 , и l_y и выборочном контроле величины предварительного напряжения.

4.3. Нагрев и натяжение арматуры

17. Нагрев заготовок арматуры производят на специальных установках с целью увеличения их длины на заданную величину, которая позволяет уложить их свободно в упоры форм, поддонов или стендов.

18. Установки для нагрева стержней арматуры рассчитывают в зависимости от размеров стержней (диаметра и длины) и вида стали на одновременный нагрев одного или нескольких стержней. При производстве изделий длиной около 6 м с напрягаемой арматурой диаметром 10...16 мм, как правило, следует нагревать одновременно все стержни изделия.

Для изделий длиной 12 м и более с напрягаемой арматурой диаметром свыше 16 мм обычно нагревают 1 или 2 стержня.

19. Установки располагаются, как правило, вне формы и поддона и состоят из двух контактных опор и одной или нескольких промежуточных опор для предохранения арматуры от провисания; одна опора должна быть подвижной и обеспечивать свободное удлинение нагреваемых стержней без перемещения их в контактах. Контроль теплового удлинения должен осуществляться с погрешностью не более ± 1 мм.

Нагрев заготовок высокопрочной проволоки рекомендуется производить вблизи от форм, над формами или изолированно непосредственно в формах. Это позволяет сократить время от окончания нагрева до укладки нагретой заготовки в упоры.

20. Нагревательные установки должны обеспечивать плотность прижима токопроводящих контактов к арматуре. Усилие прижима на один контакт должно составлять не менее 1000 Н для стали диаметром 10... 14 мм, не менее 2000 Н для стержней больших диаметров и не менее 500 Н для проволоки диаметром 8 мм. Недостаточно плотный прижим контакта к арматуре может привести к местному перегреву, вредно отражающемуся на ее прочности.

Плотность прижима контакта к арматуре должна обеспечиваться принудительно пневматическими или электромагнитными устройствами, эксцентриками или грузами.

Контакты должны быть раздвижными и состоять из токопроводящей и прижимной губок.

Ширина губок принимается в зависимости от конструкции нагревательной установки, но не менее двух диаметров нагреваемого стержня и пяти диаметров нагреваемой проволоки. Применение контактов без принудительного прижима нагреваемых стержней не допускается.

21. Во избежание перегрева арматуры контроль температуры и ее ограничение являются обязательными. Контроль и ограничение температуры нагрева арматуры рекомендуется осуществлять по ее удлинению. Не допускается одновременный нагрев нескольких стержней разного диаметра при последовательной схеме их включения.

22. Нагрев стержней арматуры рекомендуется осуществлять на возможно большем участке так, чтобы место заземления арматуры в токопроводящих контактах находилось, по возможности, вне габаритов изделий.

Рекомендуется также, где возможно, осуществлять токопровод через торцевые плоскости анкеров. Это исключает возможность поджогов стержней и позволяет нагревать стержни арматуры по всей их длине.

При использовании горячекатанной упрочненной арматуры стали класса S540 (A400в; A-IIIв) и термомеханически упрочненной стали классов S800 (A800; A-V) в таких изделиях, как пустотные панели, плиты покрытий пролетом 6 м, опоры ЛЭП и т.д., допускается при нагреве арматуры оставлять ненагретые концы такой длины, чтобы места заземления стержней в токопроводящих контактах нагревательной установки находились внутри изделия на расстоянии не более чем 30 см от его торцов.

Повторный нагрев стержней арматуры не рекомендуется, но в случае необходимости может быть допущен только после полного ее остывания, до температуры, не превышающей рекомендуемую (см. табл. 10.).

23. Нагрев термомеханически упрочненной арматуры класса S1200 (A1200; A-VII) допускается производить на установках по одному или по несколько стержней одного диаметра одновременно при условии обязательного

контроля величины удлинения каждого стержня в отдельности. Для этого рекомендуется оснастить установки механизмами принудительной подтяжки каждого стержня или подвижной контактной группы пневмоцилиндром, грузом, пружиной и т.п. для повышения точности контроля удлинения в процессе нагрева.

24. Для выбора типов, количества и схемы соединения преобразователей тока для электронагрева арматуры необходимо определить требуемую силу тока, напряжение и мощность.

Количество и схему соединения трансформаторов следует подбирать из условия обеспечения требуемой силы тока и напряжения. Мощность, получаемая по расчету, должна быть всегда меньше полезной номинальной мощности трансформаторов.

25. Для нагрева арматуры рекомендуется применять сварочные трансформаторы и трансформаторы для электронагрева бетона. Сварочные трансформаторы могут применяться как по одному, так и по два при параллельном или последовательном соединении в зависимости от требуемой силы тока и напряжения.

Примеры расчета

Пример 1. Определить технологические параметры электротермического натяжения арматуры при изготовлении преднапряженных плит пустотного настила размерами 1,5 x 6,0 м на поддонах с частичной немедленной расплужкой. Расчетная длина изделия $l_u = 5960$ мм.

Напрягаемая арматура - сталь класса S800 (A800; A-V) диаметром 14 мм, величина предварительного напряжения $P_d(\sigma_{sp}) = 530$ Н/мм², временные концевые анкеры - в виде высаженных головок.

Паспортные характеристики поддона: расстояние между упорами $l_y = 6300$ мм; продольная деформация поддона $l_\phi = 2$ мм - соответствуют фактическим данным проверок бортоснастки (при несоответствии применяются фактические данные).

Определяем требуемое удлинение арматуры, длину арматурной заготовки и необходимую длину стержня.

Допустимое предельное отклонение расстояния между опорными плоскостями временных анкеров арматурной заготовки 13 находим по табл. 16, как для контроля по шаблону при длине заготовки до 6,5 м. Оно равно +3; - 0 мм.

Расчетное удлинение арматуры определяем по формуле (13), предварительно установив, что коэффициент $K = 1,05$ (по табл. 12 при $P_d(\sigma_{sp}) > 500$ Н/мм²), а предельное отклонение от заданного напряжения составляет: $p = 87$ Н/мм²

(по табл. 11, интерполяцией для $l_u \sim 6,0$ м); модуль упругости стали $E_s = 1,9 \cdot 10^5$ Н/мм² (табл. 2, п. 1.2).

$$\Delta l_0 = \frac{K \cdot P_d(\sigma_{sp}) + p}{E_s} \cdot l_y = \frac{1,05 \cdot 530 + 87}{1,9 \cdot 10^5} \cdot 6300 \sim 21 \text{ мм.}$$

Определим длину заготовки l_3 , равную расстоянию между опорными поверхностями временных концевых анкеров по формуле (21):

$$l_3 = l_y - \Delta l_0 - \Delta l_\phi - \Delta l_c$$

где Δl_c - величина деформации временных концевых анкеров.

В данном примере используются анкеры типа высаженных головок. По п/п. 10, п. 4.1:

$$\Delta l_c = 2 m \cdot P(\sigma_{sp}) = 2 \cdot 0,003 \cdot 530 \sim 3 \text{ мм.}$$

Требуемая длина заготовки

$$l_3 = 6300 - 21 - 2 - 3 = 6274 \text{ мм.}$$

Длина отрезаемого стержня (п/п 12, (п.4.1)) арматурной стали

$$l_0 = l_3 + 2 a, \text{ мм,}$$

где $a = 2,5d + 10$ мм в случае «высаженных головок»;

a - диаметр стержня,

$$a = 2,5 \cdot 14 + 10 = 45 \text{ мм.}$$

Тогда

$$l_0 = 6274 + 2 \cdot 45 = 6364 \text{ мм.}$$

Проверка.

Допустим, что расстояние между токопроводящими контактами установки для нагрева стержней равно: $l_k = 5900$ мм. По табл. 10 рекомендуемая температура нагрева для стали класса S800 (A800; A-V) составляет: $t_p = 400$ °С. Удлинение арматуры при нагреве (п/п 11, п.4.1) определим по формуле

$$\Delta l_t = (t_p - t_0) l_k \cdot \alpha, \quad (23)$$

где t_0 - температура окружающей среды (примем $t_0 = 20$ °С);

α - коэффициент линейного расширения стали (по табл. 13 $\alpha = 13,5 \cdot 10^{-6}$).

С учетом этих данных

$$\Delta l_t = (400 - 20) \cdot 5900 \cdot 13,5 \cdot 10^{-6} = 30,3 \text{ мм.}$$

Величину полного требуемого удлинения арматуры для обеспечения свободной укладки стержней в упоры определим по формуле

$$\Delta l_{\text{п}} = \Delta l_0 + \Delta l_c + \Delta l_\phi + C_t, \quad (24)$$

где C_t - дополнительное удлинение, учитывающее остывание стержня при переносе и равное

$$C_t = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot l_3 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 6274 \approx 3 \text{ мм.}$$

Тогда

$$\Delta/l_{\text{п}} = 21 + 3 + 2 + 3 = 29 \text{ мм.}$$

Поскольку Δ/l_t больше, чем $\Delta/l_{\text{п}}$, условие свободной укладки стержней в упоры обеспечено.

Пример 2. Требуется определить технологические параметры электротермического натяжения арматуры при изготовлении преднапряженных ребристых плит размерами 3x12 м.

Расчетная длина изделия $l_u = 11980$ мм.

Напрягаемая арматура - сталь класса S800 (A800; A-V) марки 23 2Г2Т диаметром 20 мм; $P_d(\sigma_{sp}) = 700 \text{ Н/мм}^2$; временные концевые анкеры - типа «обжатая обойма».

Паспортные характеристики форм: расстояние между упорами $l_y = 12380$ м, продольная деформация форм $\Delta/l_{\text{ф}} = 3$ мм.

Определяем требуемое удлинение арматуры, длину арматурной заготовки и необходимую длину стержня.

Допустимое предельное отклонение расстояния между опорными плоскостями временных анкеров арматурной заготовки l_3 по табл. 16 составит: +5; - 0 мм.

Расчетное удлинение арматуры Δ/l_0 по формуле (12) при $K = 1,1$ (табл. 12); $\rho = 63 \text{ Н/мм}^2$ (табл. 11); $E_s = 1,9 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ (прил. к табл. 2) равно

$$\Delta/l_0 = \frac{1,1 \cdot 700 + 63}{1,9 \cdot 10^5} \cdot 12380 = 54,3 \text{ мм} \approx 54 \text{ мм}$$

Расстояние между опорными поверхностями временных анкеров l_3 по формуле (21) (с учетом того, что в случае опрессованных шайб по табл. 15 $\Delta/l_c = 2 \cdot 0,002 \cdot 700 = 2,8 \approx 3$ мм) равно

$$l_3 = 12380 - 54 - 3 - 3 = 12320 \text{ мм.}$$

Длина отрезаемого стержня арматурной стали (п/п 12, п.4.2):

$$l_0 = l_3 + 2a,$$

при $a > H + 10$ мм для обжатых шайб, где H - толщина шайбы после опрессовки.

Пусть $H = 15$ мм, тогда $a > 25$ мм; примем $a = 30$ мм.

$$l_0 = 12320 + 2 \cdot 30 = 12380 \text{ мм.}$$

Проверка.

Принимаем расстояние между токопроводящими контактами $l_k = 12$ м.

Рекомендуемая температура нагрева для стали класса S800 (A800; A-V) (табл. 10) составляет 400 °С, максимально допустимая – 450 °С.

Удлинение арматуры при нагреве (п/п 11, п. 4.1) составит при $\alpha = 13,8 \cdot 10^{-6}$ (табл. 13)

$$\Delta l_c = (400 - 20) \cdot 12000 \cdot 13,8 \cdot 10^{-6} = 63 \text{ мм.}$$

Величину полного требуемого удлинения арматуры Δl_n для обеспечения свободной укладки на упоры определяем с учетом остывания при переносе

$$C_t = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot l_3 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 12320 \approx 6 \text{ мм.}$$

Тогда

$$\Delta l_n = 54 + 3 + 3 + 6 = 66 \text{ мм.}$$

Поскольку $\Delta l_t < \Delta l_n$, требуемое удлинение арматуры для свободной укладки ее в форму расчетом при $t_p = 400$ °С не достигается. Необходимо увеличить температуру нагрева до значения не ниже

$$t_p \geq \frac{\Delta l_t}{l_k \cdot \alpha} + t_0 \quad (25)$$

при $\Delta l_t > \Delta l_n$, т.е. $\Delta l_t > 66$ мм.

Принимаем $\Delta l_t = 70$ мм. Для этого значения удлинения арматуры требуется нагрев до температуры

$$t_p = \frac{70}{12000 \cdot 13,8 \cdot 10^{-6}} + 20 \approx 443 \text{ °С,}$$

что ниже максимально допустимой (450 °С) и обеспечивает условие свободной укладки стержней в упоры формы.

5. Электротермомеханический способ натяжения проволочной арматуры при непрерывном армировании

1. Метод непрерывного армирования представляет собой технологический процесс изготовления преднапряженного арматурного каркаса железобетонного изделия из семипроволочного каната диаметром 6 мм или проволоки диаметром 3...5 мм.

2. При этом методе применяются агрегаты, с помощью которых непосредственно из бухты арматурного каната или проволоки навивается арматура на упоры формы, станда и по периметру металлических, бетонных или железобетонных сердечников.

Принцип действия арматурно-намоточного агрегата следующий. Смазываемая с бухты гибкая арматурная нить проходит последовательно через подтормаживающее устройство, механизм подачи, натяжную станцию, рас-

пределительный рабочий орган (пиноль) и закрепляется на упоре. В процессе движения рабочего органа по заданной траектории происходит предварительное напряжение арматуры как за счет механического натяжения, так и за счет остывания после электронагрева (нагрев - до температуры 350 °С) в период, когда арматура проходит между контактными блоками, соединенными с источником тока. После остывания закрепленная на упорах арматура дополнительно натягивается до проектной величины за счет температурных деформаций укорочения.

Конструкция арматурно-намоточного агрегата предусматривает синхронность скорости подачи и раскладки арматуры.

Места перегибов навиваемой арматуры могут располагаться внутри изделия и за его пределами. В первом случае перегибы могут быть использованы в качестве внутренних анкеров арматуры, во втором ее анкеровка обеспечивается за счет сцепления с бетоном.

На чертежах непрерывно армируемых изделий должна быть приведена схема, указаны последовательность навивки, места установки упоров и закрепления начала и конца арматурной нити.

Применяемые при непрерывном армировании упоры служат для навивки арматурной нити, закрепления ее концов, позволяют изменить направление навивки (как правило, под углом 180 и 90°).

Конструкцию упоров необходимо принимать в зависимости от технологии изготовления с учетом конструктивных особенностей изделия.

Упоры для непрерывной навивки делятся:

- 1) по расположению относительно изделия - на наружные (располагаемые за пределами изделия) и внутренние (располагаемые в пределах изделия);
- 2) по расположению в пространстве - на вертикальные и наклонные;
- 3) по конструкции - на цельные и составные;
- 4) по способности обеспечивать плавную передачу натяжения с арматуры на бетон - на подвижные и неподвижные.

При изготовлении одного изделия могут применяться упоры различных типов (например, при навивке двухосно преднапряженного каркаса поперечные упоры могут быть неподвижными, а продольные - подвижными и т.д.).

3. Расчет параметров механического и электротермического натяжения арматуры производится следующим образом.

Величина начального преднапряжения в арматуре $P_d(\sigma_{sp})$ складывается из величины ее механического натяжения, осуществляемого за счет груза

или подтормаживающего устройства, и величины напряжения, создаваемого за счет ее электронагрева.

Начальное напряжение в арматуре для обеспечения безопасности навивки и надежности работы арматуры в условиях повышенных температур не должно превышать 65% предела прочности арматуры. Максимальная температура нагрева арматуры не должна превышать 350°C.

Величина груза P , H , определяется по формуле

$$P = P_{dm}(\sigma_{spm}) \cdot A_{sp} n \cdot \eta \quad (26)$$

где $P_{dm}(\sigma_{spm})$ - предварительное напряжение за счет механического натяжения арматуры, Н/мм²;

A_{sp} - площадь сечения арматуры, мм²;

n - число ветвей в полиспасте грузовой клетки;

η - КПД блочной системы, направляющей арматуру, принимаемый $\eta = 0,85$.

Электротермическое натяжение арматуры определяется по формуле

$$P_{dз}(\sigma_{спз}) = \alpha \cdot t \cdot E_s \quad (27)$$

где α - коэффициент линейного удлинения арматуры, равный $12,5 \cdot 10^{-6}$ 1/°C;

t - температура нагрева арматуры, °C;

E_s - модуль упругости арматуры, Н/мм².

Параметры электронагрева арматуры следует определять с учетом скорости навивки V_a , м/с, длины участка нагрева l , м, температуры нагрева t , °C:

1. Среднее значение силы тока I_{cp} , А, нагрева определяется по формуле

$$I_{cp} = \sqrt{C \cdot g \cdot \Delta t \cdot Va / 0,24 r_{cp} \cdot l \eta \cdot K_{эп}} \quad (28)$$

где C - удельная теплоемкость арматурной стали, равная $0,12 \cdot 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг °C);

g - масса 1 пог.м арматуры, кг;

$\Delta t = t - t_0$ (где t и t_0 - температуры соответственно нагрева арматуры и окружающей среды, °C);

r_{cp} - среднее значение электрического сопротивления 1 пог.м арматуры, Ом/м, равное

$$r_{cp} = \rho (1 + \alpha_1 \Delta t) / A_{sp}, \quad (29)$$

где ρ – удельное сопротивление арматурной стали, равное $0,12 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$;

α_1 - температурный коэффициент сопротивления арматурной стали, равный $0,0048 \text{ 1/}^\circ\text{C}$;

A_{sp} - площадь поперечного сечения арматуры, мм^2 ;

η - КПД нагревательной установки с учетом потерь тепла в окружающую среду при данном режиме работы машины, принимаемый $\eta = 0,9$;

$K_{эп} = 1$ и ввиду низкой частоты тока (50 Гц) и сильно развитой поверхности арматуры при достаточно малом ее сечении практически не учитывается.

Амперметр арматурно-навивочного агрегата устанавливают на полученное по формуле (28) значение силы тока.

По окончании навивки контролируют величину натяжения арматуры на соответствие проектной и в случае необходимости корректируют путем изменения силы тока.

2. Полная (кажущаяся) мощность преобразователя источника питания, кВА, равна

$$P = U I_{cp} / 1000, \text{ кВ}\cdot\text{А}, \quad (30)$$

где U - вторичное напряжение преобразователя, В.

Пример.

Определить технологические параметры электротермомеханического натяжения спиральной рабочей арматуры при изготовлении железобетонных напорных центрифугированных труб длиной 5 м, внутренним диаметром 800 мм, наружным диаметром железобетонного сердечника 926 мм.

Напрягаемая арматура - стальная проволока класса S1400 (B-II) диаметром 5 мм; величина предварительного напряжения - 1000 Н/мм^2 , в том числе механическое натяжение - $30\dots35 \%$ ($P_{dm}(\sigma_{spm}) \sim 350 \text{ Н/мм}^2$), электротермическое $P_{ds}(\sigma_{spm}) \sim 650 \text{ Н/мм}^2$, допустимая температура нагрева стали ≤ 350 °С; скорость вращения железобетонного сердечника при навивке - 20 об/мин.

Определяем величину груза для обеспечения механического натяжения арматуры по формуле (26), установив по табл. 3 значение $A_{sp} = 19,6 \text{ мм}^2$ и приняв число ветвей в полиспасте $n = 2$, при КПД блочной системы $\eta = 0,85$.

Тогда

$$P_m = 350 \cdot 19,6 \cdot 2 \cdot 0,85 = 11662 \text{ Н};$$

$$P_m \approx 11,7 \text{ кН}.$$

Определим требуемую температуру нагрева проволоки, решив зависимость (27) относительно t :

$$t = \frac{P_{дз}(\sigma_{спз})}{\alpha \cdot E_0}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (31)$$

При $\alpha = 13,4 \cdot 10^{-6}, 1/^\circ\text{C}$, для проволоки в диапазоне температур 20...350 $^\circ\text{C}$ (табл. 13) и $E_0 = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ (табл. 2. п. 1.2) требуемая температура нагрева

$$t = \frac{650}{13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 2,0 \cdot 10^5} \approx 243 \text{ } ^\circ\text{C}$$

что ниже максимально допустимой 350 $^\circ\text{C}$.

Определим требуемые параметры электрического тока для нагрева арматуры.

Среднее значение электрического сопротивления 1 пог.м и арматуры по формуле (29) при удельном сопротивлении арматурной стали $\rho = 0,12 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, температурном коэффициенте сопротивления арматурной стали $\alpha_1 = 0,0048, 1/^\circ\text{C}$, площади сечения $A_{сп} = 19,6 \text{ мм}^2$ и разнице температуры нагрева и окружающей среды $\Delta t = 243 - 20 = 223 \text{ } ^\circ\text{C}$, будет равно

$$r_{cp} = 0,12 \cdot (1 + 0,0048 \cdot 223) / 19,6 \approx 0,0127 \approx 12,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/м}.$$

Определим скорость навивки V_a , которая соответствует линейной (окружной) скорости точки на внешней поверхности железобетонного сердечника радиусом $R = 26/2 = 13 \text{ мм} = 0,013 \text{ м}$.

При равномерной скорости вращения в 20 об/мин путь точки S за отрезок времени t составит:

$$S = 2\pi R \cdot t \cdot 20, \text{ м}$$

Скорость навивки V_a , м/с, за одну секунду ($t = 1$) составит

$$V_a = 2\pi R \cdot 20/60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,013 \cdot 20/60 = 0,27 \text{ м/с} \sim 0,27 \text{ м/с}.$$

Определим среднее значение силы тока для нагрева стали I_{cp} , по формуле (28). При удельной теплоемкости стали $C = 0,12 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, массе погонного метра арматуры (табл. 4) $q = 0,154 \text{ кг}$, $\Delta t = 223 \text{ } ^\circ\text{C}$, скорости навивки арматуры $V_a = 0,27 \text{ м/с}$, длине участка нагрева, принятого $l = 4 \text{ м}$, КПД нагревательной установки $\eta = 0,9$, коэффициенте $K_{эп} = 1$

$$\begin{aligned} I_{cp} &= \sqrt{C \cdot q \cdot \Delta t \cdot V_a / 0,24 \cdot \eta \cdot K_{эп}} \\ &= \sqrt{504 \cdot 0,154 \cdot 223 \cdot 0,27 / 0,24 \cdot 0,9 \cdot 1} = \sqrt{1577355} \\ &= 1255 \text{ А} \end{aligned}$$

Амперметр арматурно-навивочного агрегата устанавливают на полученное значение силы тока для обеспечения и косвенного контроля температуры нагрева и величины преднапряжения арматуры.

Определим полную (потребляемую) мощность преобразователей тока (трансформаторов) по формуле (30), где U - вторичное напряжение, например, для преобразователя тока типа «ТДФЖ - 2002 УЗ», характеризующегося пределами регулирования силы тока 600...2200 А; номинальное рабочее напряжение $U = 75$ В.

Тогда

$$P = 1255 \cdot 76 / 1000 \approx 95,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}$$

при номинальной мощности для данного типа трансформатора в 260 кВ·А.

Требуемое напряжение источника питания, обеспечивающее условия нагрева,

$$U = I_{cp} \cdot R_{cp} \cdot 1, \text{ В}, \quad (33)$$

Или

$$U = 1255 \cdot 0,0127 \cdot 4 \approx 64 \text{ В},$$

что не превышает номинального напряжения, равного 76 В.

Время нагрева арматуры

$$t = 1/V_a = 4/1 = 4 \text{ с}.$$

6. Контроль величины предварительного напряжения арматуры

Контроль величины предварительного напряжения арматуры является обязательной составной частью контроля качества предварительно напряженных железобетонных конструкций и состоит в сопоставлении действительных значений преднапряжения с установленными в рабочих чертежах или стандартах на изделия.

В рабочих чертежах или стандартах на изделия должны быть указаны:

- 1) проектное значение предварительного напряжения $P_d(\sigma_{sp})$, Н/мм²;
- 2) величина допускаемых отклонений предварительного напряжения p , Н/мм², принятая при расчете конструкции.

Примечание. В случае отсутствия в рабочих чертежах изделия величины p ее значения при электротермическом способе натяжения следует принимать по табл. 11.

Контроль величины преднапряжения арматуры осуществляется по ГОСТ 22362.

Заданная точность натяжения арматурных стержней обеспечивается проведением двух видов контроля - технологического и приемочного.

6.1. Технологический контроль

Технологический контроль производится путем проверки основных параметров процесса заготовки и натяжения стержней. Выбор параметров определяется принятым способом натяжения арматуры.

При механическом натяжении арматуры по одному стержню технологический контроль должен производиться по показаниям манометра гидродомкрата или динамометра, включенного в силовую цепь напрягаемого стержня. Технологический контроль с помощью динамометра одновременно является и приемочным.

При групповом механическом натяжении арматуры с контролем общего усилия натяжения технологический контроль включает в себя:

- 1) контроль общего усилия натяжения группы стержней по показаниям манометра гидродомкрата или динамометра;
- 2) выборочный контроль длин арматурных заготовок.

При групповом механическом натяжении арматуры с контролем заданного удлинения технологический контроль включает в себя:

- 1) контроль задаваемого удлинения;
- 2) выборочный контроль длин арматурных заготовок.

При электротермическом и групповом механическом с фиксированным ходом натяжной траверсы способе натяжения технологический контроль включает в себя:

- 1) ежесменный выборочный контроль длин арматурных заготовок;
- 2) комплексный контроль не реже одного раза в квартал расстояний между упорами форм, деформативности форм, длин арматурных заготовок, размеров кондукторов, смещения анкеров после натяжения с устранением установленных нарушений.

6.2. Приемочный контроль

Приемочный контроль является основным видом контроля, определяющим фактическую точность натяжения арматуры, и производится после завершения всех операций по натяжению арматуры, а при электротермическом и электротермомеханическом способах натяжения - после остывания арматуры до температуры окружающего воздуха.

Приемочный контроль осуществляется приборами, отвечающими требованиям ГОСТ 22362 и работающими на принципах:

- 1) измерения усилий поперечной оттяжки напряженной арматуры (оттяжные динамометры);
- 2) измерения периода установившихся колебаний напряженной арматуры (приборы частотного типа - периодомеры);
- 3) измерения усилия натяжения арматуры с помощью концевых динамометров, включаемых непосредственно в силовую цепь напрягаемых стержней.

Допускается применять кроме указанных другие типы приборов, отвечающих требованиям ГОСТ 22362 и прошедших метрологическую аттестацию, а также проверку или градуировку по утвержденным государственными метрологическими службами методикам.

Контроль усилия натяжения проволочной и стержневой арматуры диаметром 5...22 мм и длиной до 18 м (включительно), напрягаемой механическим или электротермическим способами на упорах форм или поддонов, можно осуществлять приборами частотного типа. Предпочтение следует отдавать приборам с прямым отсчетом результатов измерений.

При применении приборов частотного типа должно быть исключено касание контролируемой арматуры сетками, закладными деталями, элементами форм, препятствующими свободным колебаниям стержней. Если указанное условие обеспечить сложно или невозможно, контроль может осуществляться приборами динамометрического типа: ПРД, ПИН-5, ПИН-8, ПИН-10 и АДК.

При выборе типа прибора следует учитывать не только время, необходимое для проведения измерений, но и затрачиваемое на осуществление подготовительных операций.

Контроль усилия натяжения арматурных стержней диаметром более 22 мм следует проводить оттяжными динамометрами типа ПРД и ПИН-10 на базе формы и концевыми динамометрами типа АДК. Базой измерений при этом является расстояние между упорами форм.

Контроль усилия натяжения проволочной арматуры, напрягаемой электротермическим и электротермомеханическим способами, проволочной или стержневой продольной напрягаемой арматуры труб, изготавливаемых вибрированием и центрифугированием опор ЛЭП, снабженных спиралью или каркасами косвенного армирования, независимо от способа натяжения следует проводить приборами с собственной базой типа ПИН-5, ПИН-8 или ПИН-10.

Контроль усилия натяжения проволочной или стержневой арматуры, напрягаемой механическим способом (групповым или по одному стержню) на стендах или длинных формах, рекомендуется проводить с помощью концевых арматурных динамометров типа АДК.

При контроле величины задаваемого напряжения с помощью арматурного динамометра, включенного непосредственно в силовую цепь напрягаемого стержня, технологический контроль одновременно является и приемочным.

Таблица 17 – Допускаемые отклонения средних напряжений в арматуре изделия от заданного в проекте

Класс точности	Преднапряженные конструкции, отнесенные к соответствующему классу точности	Отрицательные отклонения, %	Положительные отклонения, %
I	Все конструкции 1 категории гребнистойкости, стропильные и подстропильные балки и фермы с проволочной преднапряженной арматурой, ребристые плиты покрытий длиной 12 м и более с проволочной преднапряженной арматурой	-5	+ 10
II	Ребристые плиты покрытия и перекрытия, стропильные и подстропильные балки и фермы, ригели, прогоны со стержневой арматурой; пустотные и сплошные плоские плиты перекрытия с проволочной арматурой	-10	+ 10

Примечание. В пустотных и сплошных плоских плитах перекрытий и покрытий со стержневой арматурой при специальном обосновании допускаемые отклонения могут составлять $\pm 15\%$.

Измерения величины преднапряжения арматуры приборами частотного типа проводятся по следующей методике:

- 1) устанавливается датчик колебаний в средней части контролируемой арматуры;
- 2) производится плавный толчок (либо удар) арматурного стержня;
- 3) осуществляется нажатие на кнопку «Пуск» на передней панели прибора, после чего через 1...7 с на цифровом табло появляется значение величины периода колебаний, а в приборах с прямым отсчетом - значение величины напряжения в контролируемой арматуре.

Способ возбуждения колебаний контролируемого стержня, величина допускаемой погрешности установки датчика колебаний, зависимость для перевода периода колебаний в величину напряжения арматуры должны приниматься согласно Инструкции по эксплуатации применяемого прибора.

В прибор с прямым отсчетом перед началом измерений необходимо ввести значения длины и диаметра контролируемой арматуры.

Измерения силы натяжения арматуры *оттяжными динамометрами* проводятся по следующей методике:

- 1) приборы, производящие оттяжку арматуры на базе формы (ПРД, ПИН-10), устанавливаются в середине длины контролируемого стержня (смещение места установки прибора от середины стержня не должно превышать 2 %);
- 2) приборы с собственной базой измерений (ПИН-5, ПИН-8, ПИН-10) устанавливаются на любом свободном участке контролируемого стержня; длина свободного участка должна быть на 0,1 м больше базы прибора (на этом участке не допускается наличия сварных или иных стыков и соединений);
- 3) вращением натяжного винта (ПРД, ПИН-10) либо эксцентриком (ПИН-5, ПИН-8, ПИН-10) задается необходимая величина оттяжки арматуры;
- 4) результат измерения считывается с цифрового табло (ПИН-8, ПИН-10) или по шкале индикатора часового типа (ПРД);
- 5) перевод показаний приборов в величины усилий натяжения арматуры производится по градуировочным зависимостям;
- 6) в прибор с прямым отсчетом (ПИН-10) перед началом измерений необходимо ввести значение диаметра контролируемой арматуры.

Измерения силы натяжения арматуры *концевыми динамометрами* обеспечивают наибольшую оперативность и достоверность контроля. Приборы могут устанавливаться на натяжных тягах или траверсах стендов и силовых форм, а также использоваться в составе гидродомкратов и других натяжных устройств. При этом отпадает необходимость в периодической градуировке гидродомкратов.

Контроль величины предварительного напряжения арматуры должен производиться выборочными методами в форме статистического приемочного контроля или статистического регулирования.

Статистический приемочный контроль осуществляется путем избирательного измерения величины предварительного напряжения в некотором числе стержней из всего объема напрягаемой арматуры за смену.

Отклонение средних напряжений в арматуре изделия от заданного в проекте не должно превышать значений, указанных в табл. 17.

Статистическое регулирование процесса натяжения арматуры рекомендуется проводить для уменьшения объема контроля напрягаемых стержней с помощью контрольных карт (X - R) средних арифметических значений и размахов.

7. Передача усилия обжатия на бетон

Передача предварительного напряжения на бетон (отпуск натяжения арматуры) должна производиться после достижения бетоном передаточной прочности.

Под *передаточной прочностью* бетона изделий понимается нормируемая прочность бетона предварительно напряженных конструкций к моменту передачи на него усилия обжатия (предварительного натяжения) арматуры. Величина передаточной прочности бетона регламентируется проектом, ГОСТом или техническими условиями на данный вид изделий. Контроль и оценка передаточной прочности бетона производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 101180 и ГОСТ 18105.

В зависимости от принятой технологии, вида изделия и класса арматуры могут быть приняты следующие способы передачи на бетон усилия от натяжения арматуры:

- 1) одновременная передача натяжения всех арматурных элементов или группы их с помощью домкратов, специальных устройств (клиновых, песочниц), предварительного нагрева или обрезки арматуры (газовым пламенем, электродугой и т.д.);
- 2) поочередная передача натяжения отдельных арматурных элементов или группы их.

В табл. 18 приведены рекомендуемые способы передачи напряжения.

В процессе обжатия конструкция не должна воспринимать нагрузок, не предусмотренных расчетом, влияющих на нее или способствующих заклиниванию, образованию трещин или других повреждений и деформаций.

Формы, вкладыши и другие устройства, которые могут воспрепятствовать продольному перемещению элементов вдоль стенда, должны быть распалублены или удалены, чтобы не происходило заклинивания изделий в формах и в другом оборудовании в процессе отпуска.

Чтобы свести к минимуму возможную сдвижку элементов, отпуск арматуры рекомендуется осуществлять на обоих концах стенда (например, нагрев и перерезание арматуры газокислородным пламенем и др.).

Для преднапряженных конструкций, имеющих отогнутую арматуру, передачу усилий обжатия следует производить только после извлечения штырей, фиксирующих точки перегиба (на штыри перед бетонированием надевается трубка). При этом наиболее целесообразно осуществлять отпуск всей арматуры одновременно; в случае отсутствия такой возможности допускается отпускать, в первую очередь, отогнутую арматуру, а затем - прямолинейную. Порядок отпуска должен быть указан в технологической карте и чертежах.

Отпуск натяжения проволочной и канатной арматуры следует осуществлять всегда плавно, для чего используются гидродомкраты, клиновые или винтовые устройства, песочные муфты, медленный разогрев арматуры на определенной длине (см. табл. 18).

В отдельных случаях при отсутствии мощных гидродомкратов и других приспособлений можно рекомендовать плавный отпуск, а в случае наличия небольшого количества арматуры в сечении (до 10) - плавный и одновременный отпуск путем предварительного разогрева свободных участков (базы прогрева) арматуры газокислородным пламенем.

При отсутствии оборудования необходимой мощности для одновременного отпуска натяжения передачу напряжений на бетон можно осуществлять неодновременно: на полную величину в каждом арматурном элементе (группах) или ступенями, с постепенным уменьшением напряжения.

Поочередную передачу натяжения арматуры рекомендуется производить симметрично относительно вертикальной оси поперечного сечения изделия, с одной или с двух сторон. Порядок и последовательность передачи натяжения арматуры указывается в технологической карте или в рабочих чертежах.

Таблица 18 – Способы передачи усилия от натяжения арматуры

Наименование режима передачи (отпуска) натяжения арматуры	Скорость снижения, МПа/с (кгс/мм ² -с)	Способ передачи натяжения арматуры
Плавный	до 5	Отпуск домкратом всей арматуры. Поочередный отпуск домкратом. Отпуск клиновыми устройствами. Отпуск песочными муфтами. Отпуск с предварительным разогревом газокислородным пламенем или электрическим током на определенной длине (без нагрева) с последующей обрезкой
Неплавный	до 20	Поочередная обрезка электродугой, газокислородным пламенем без предварительного медленного разогрева определенной длины. Поочередная обрезка дисковой пилой

При изготовлении преднапряженных железобетонных конструкций, когда натяжение арматуры производится одновременно с помощью гидродомкрата, процесс отпуска натяжения осуществляется тем же гидродомкратом, В этом случае следует контролировать величину натяжения (при подтягивании), которая должна быть минимально необходимой для освобождения стопорных гаек на силовых тягах. Контрольная величина вытягивания арматуры из бетона не должна превышать 0,1 мм и может фиксироваться с помо-

щью индикаторов с ценой деления 0,01 мм, устанавливаемых на арматуре у торца изделия, ближайшего к гидродомкрату.

Для плавной передачи натяжения на бетон рекомендуются также клиновые и винтовые приспособления, песочные муфты или плавный нагрев участков арматуры (базы нагрева) газокислородной горелкой.

В процессе эксплуатации клиновых устройств их надежность может уменьшаться вследствие воздействия пара на рабочие поверхности при тепловлажностной обработке. Поэтому необходимо защитить клиновое устройство от такого воздействия, а для рабочих поверхностей использовать материалы, имеющие постоянные коэффициенты трения при повышенной влажности (типа фторопласта и др.). В ряде случаев рекомендуется увеличивать угол клина, если для сдерживания его движения устанавливаются тормозные устройства.

Песочные муфты при стендовой технологии могут служить как для одновременной, так и для неодновременной передачи натяжения на бетон. При этом используется прокаленный песок, который необходимо часто менять, так как через непродолжительное время он спрессовывается, а при отрицательной температуре - смерзается. Надежность работы песочных муфт при неоднородном (поочередном) отпуске арматуры, а также при симметричном ее расположении в сечении изделия зависит от центрального расположения муфт; при внецентренном расположении необходимо предусмотреть мероприятия против их перекоса или заклинивания. Кроме того, может иметь место несинхронная работа песочных муфт при групповом расположении вследствие возможности неодновременного вытекания песка из разных муфт.

Предварительный разогрев арматурных элементов для плавной передачи натяжения, число этапов, база нагрева и другие показатели должны подбираться в зависимости от числа арматурных элементов, канатов и их свободной длины.

Оптимальным режимом плавного отпуска является разогрев всех канатов в течение 4 мин и более. При этом каждый канат следует разогревать одним бензорезом поочередно в течение 5 с таким образом, чтобы прогревались все внешние проволоки на длине не менее 160 мм. Газовый аппарат нужно при этом устанавливать на режим разогрева. Разогрев и отпуск будут плавными, если при этом не происходит обрыва отдельных проволок в канате или всего каната. При плавном отпуске отдельные проволоки должны быть сплавлены; неплавный отпуск приводит к распушиванию проволок каната. Место разогрева канатной арматуры не должно быть ближе 100 мм от торца конструкции.

Оптимальным режимом плавного отпуска стержневой арматуры является нагрев на базе около 5 см (в зависимости от диаметра) в течение 4...5 с.

Кроме перечисленных выше способов могут быть применены и другие, еще не нашедшие широкого промышленного применения: электронагрев свободных участков (базы нагрева) арматуры с помощью сварочных трансформаторов, метод компенсационных диафрагм и др., но только после их опытной проверки для конкретных условий.

При агрегатно-поточной технологии натяжение арматуры осуществляется на силовые формы, при этом тепловлажностная обработка создает тяжелые условия для работы отпускных устройств. Для широкого применения с целью отпуска натяжения при изготовлении плитных конструкций (многопустотные настилы и др.) рекомендуются поворотные приставки, которые при установке на них поддона поворачиваются, обеспечивая сближение упоров и полное снятие натяжения в арматуре.

Литература к приложению

1. Строительные нормы Республики Беларусь. СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции (с изменениями и дополнениями). Министерство арх. и строит. РБ. Мн., 2003. – 140 с.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.И. Железобетонные конструкции. Общий курс. Учебник. – М. – М.: Стройиздат, 1991. – 766 с.
3. Руководство по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1975. – 192 с.
4. Пособие по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1992. – 102 с.
5. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. – М.: Стройиздат, 1967. – 163 с.
6. Ахвердов И.Н. Технология железобетонных изделий и конструкций специального назначения. – Мн.: Наука и техника, 1993. – С. 4-39.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахвердов, И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. – М.: Стройиздат, 1967. – 162с.
2. Ахвердов, И.Н. Теоретические основы бетоноведения. - Минск, Высшэйшая школа, 1991. – 187с.
3. Ахвердов, И.Н. Технология железобетонных изделий специального назначения. - Мн.: Навука и тэхніка, 1993. – 230с.
4. Баженов, Ю.М. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. Учебник / Алимов, А.А., Воронин, В.В., Магдеев, Ч.Х. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 256 с.
5. Баженов, Ю.М. Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий. – М.: Изд. АСВ, 2005г. – 472с.
6. Батяновский, Э.И. Технологическое обеспечение производства железобетонных конструкций. Учебное пособие / Э.И. Батяновский, В.В. Бабицкий, Е.В. Коробко, П.И. Юхневский. – Мн.: БГПА, 2001. – 161с.
7. Колодзий, И.И. Производство сборных и железобетонных изделий. М.: Высшая школа, 1987. – 240с.
8. Сизов, В.Н. Технология бетонных и железобетонных изделий. Учебник / В.Н. Сизов, С.А. Киров, Л.Н. Попов, Н.В. Свечин. - М.: Высшая школа, 1972. – 520с.
9. Трофимов, Б.Я. Технология сборных железобетонных изделий. С.-Петербург: Изд. «Лань», 2014. – 384с.
10. Пособие по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1992. – 102с.
11. Руководство по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1975. – 192с.
12. СНБ 05.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск.: Минстройархитектуры РБ, 2003. – 139с.
13. Справочник по производству сборных железобетонных изделий под ред. К.В. Михайлова, А.А. Фоломеева. – М.: Стройиздат, 1972. – 344с.
14. ТКП 45-5.03-12-2005 (02250) Изделия из тяжелого бетона предварительно напряженные. Правила изготовления. – Минск.: Минстройархитектуры РБ, 2006. – 71с.