

Министерство образования и науки РФ
ГОУ ВПО «Братский государственный университет»

Т.Ф. Шляхтина

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ДЛЯ ЖИЛИЩНОГО И ГРАЖДАНСКОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА**

Учебное пособие

Братск
Издательство Братского государственного университета
2010

Шляхтина Т.Ф. Технологические особенности изготовления железобетонных конструкций для жилищного и гражданского строительства: учеб. пособие. – Братск: БрГУ, 2010. – 129 с.

В учебном пособии рассмотрены особенности технологических линий по производству изделий для жилищного и гражданского строительства.

Предназначено для студентов, получающих образование по специальности 270106.65 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», и магистрантов, обучающихся по направлению 270100.68 «Строительство» со специализацией «Технология строительных материалов, изделий и конструкций» и «Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций».

*Рецензент В.В. Русина, канд. техн. наук, доцент кафедры
СМиТ БрГУ (г. Братск)*

© ГОУ ВПО «БрГУ», 2010

© Шляхтина Т.Ф., 2010

Экономический подъем последнего десятилетия способствовал развитию строительной отрасли и реализации основных мировых тенденций в строительной практике России. Широкое распространение получило монолитное строительство на основе современных опалубочных систем, особенно при возведении многоэтажных зданий и сооружений. В общественных и гражданских зданиях тяжёлый железобетонный каркас практически полностью вытеснен легким и быстровозводимым металлическим. Более широкое распространение получило кирпичное и блочное строительство. Вместе с тем массовое жилищное строительство продолжает ориентироваться на крупнопанельное домостроение. Этому способствует не только широкая сеть заводов ЖБИ и КПД по всей стране, но и суровые климатические условия на большей части её территории, что ограничивает востребованность монолитного и кирпичного строительства.

Для большинства технологических линий на заводах сборного железобетона используются унифицированные типовые пролёты УТП-1 или 2 (144х18м или 144х24 м), что позволяет размещать разнообразные линии, реконструировать и модернизировать их без изменения строительной части промышленных корпусов. Наличие широкой сети заводов сборного железобетона в стране является мощной базой для увеличения объёмов жилищного и гражданского строительства при условии реконструкции и модернизации существующих производств с учётом современных требований.

Целью данного пособия является ознакомление студентов, будущих инженеров-строителей-технологов, с наиболее перспективными технологическими линиями по изготовлению сборных железобетонных конструкций массовых серий, расширение их кругозора в сфере решения инженерных и технологических задач. В пособии представлены варианты технологических линий по изготовлению железобетонных изделий и конструкций для массового жилищного и гражданского строительства (ограждающие конструкции, панели внутренних стен и перегородок, объёмные элементы). Кроме этого, подробно рассмотрены особенности производства плит перекрытий как наиболее востребованных на рынке железобетонных конструкций.

Материалы пособия могут быть использованы при изучении специальных дисциплин «Бетонovedение», «Технология бетонных и железобетонных изделий», «Проектирование предприятий стройиндустрии» и др., а также при выполнении курсового и дипломного проекта студентами и магистрантами, обучающимися по направлению «Строительство».

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Ужесточение требований СНиП II-3-79** «Строительная теплотехника» к ограждающим конструкциям обусловило переход к многослойным конструкциям стен. Существующие конструкционно-теплоизоляционные материалы с плотностью 800–1200 кг/м³ не обеспечивают изготовление однослойных наружных конструкций толщиной менее 0,5 м, что существенно повышает материалоемкость зданий. Использование мелкоштучных материалов (кирпич, блоки) из-за повышенной трудоёмкости и длительности работ приемлемо для малоэтажного, преимущественно индивидуального строительства. Наличие широкой сети заводов сборного железобетона по всей стране при увеличении объёмов жилищного строительства позволит оперативно возобновить производство ограждающих конструкций в виде многослойных сборных панелей. Это подтверждается опытом жилищного строительства в крупных городах страны за последние несколько лет [16].

Кроме требований по теплозащите, к ограждающим конструкциям предъявляются особые требования по отделке, которая в значительной степени формирует архитектурную выразительность зданий. Поэтому линии по изготовлению наружных стеновых конструкций оснащаются отдельными постами или специализированными конвейерными линиями по отделке лицевых поверхностей панелей.

Чаще всего многослойные наружные панели состоят из трех слоёв: конструктивного – из тяжёлого бетона В10; теплоизоляционного – из материала с плотностью не более 100–200 кг/м³ (обычно минераловатные или пенополистирольные плиты); защитного – из тяжёлого бетона или раствора. Тот или иной вид отделки можно рассматривать в качестве дополнительного слоя ограждающих конструкций.

Поскольку наружные стеновые панели – ненесущие конструкции, то их армируют конструктивно сетками и каркасами вдоль проёмов, а для соединения слоёв используют связи в виде шпилек. На связи наносят защитное покрытие для предотвращения коррозии арматуры в среде утеплителя. В последнее время для соединения слоёв в многослойных панелях используют бетонные шпонки, пронизывающие конструкцию насквозь.

На заводах сборного железобетона практикуется опыт организации технологических линий по производству наружных стеновых конструкций по агрегатной, конвейерной и стендовой схемам [6]. Агрегатный способ в силу своей универсальности, гибкости и манёвренности нашёл наибольшее применение. рассмотрим схему производства трехслойных панелей по агрегатному способу с наиболее традиционным размещением технологических постов и оборудования (рис. 1.1).

Формовочный пост оснащён виброплощадкой, бетоноукладчиком с несколькими бункерами, что позволяет одновременно загружать бетоны и растворы разного состава, а также заглаживающей машиной для выравнивания поверхности панелей. На посту подготовки форму чистят, смазывают, армируют и собирают, а затем краном подают на пост формования и фиксируют на виброплощадке. В зависимости от выбранного вида отделки панелей и принятой технологии отделочный слой может быть уложен вниз формы или после завершения формования панелей сверху. Процесс формования панелей «лицом вверх» предполагает: укладку и уплотнение конструкционного слоя тяжёлого бетона; раскладку вручную плитного утеплителя; установку арматурной сетки и связей; укладку защитного слоя бетона или раствора с поверхностным уплотнением виброрейкой, смонтированной на бетоноукладчике, и окончательную отделку лицевой поверхности. Формование панелей «лицом вниз» обеспечивает более надежное сцепление отделочного и защитного слоев конструкции. Вместе с тем необходимость использования для уплотнения конструкционного слоя поверхностных вибраторов исключает возможность применения жестких бетонных смесей и приводит к повышенному расходу цемента для данного способа производства наружных стеновых панелей. Цикл формования составляет 25–30 мин [5]. Форма с отформованным изделием краном подается в ямную пропарочную камеру для тепловой обработки. При использовании в качестве утеплителя пенополистирола температура изотермического прогрева не должна превышать 60 °С для предотвращения его дополнительного вспенивания. Учитывая это длительность тепловой обработки должна быть увеличена на 2–4 ч по сравнению с требованиями ОНТП [10].

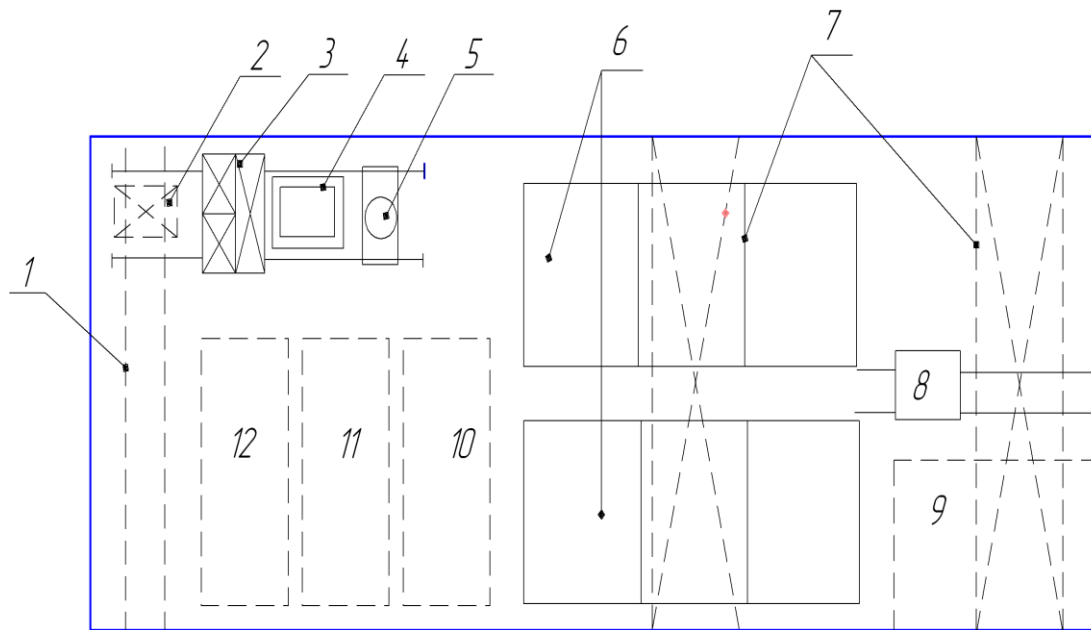


Рис. 1.1. Агрегатная схема изготовления наружных стеновых панелей:

- 1 – тракт подачи бетонной смеси; 2 – накопительный бункер; 3 – бетоноукладчик; 4 – виброплощадка;
 5 – заглаживающее устройство; 6 – ямные пропарочные камеры; 7 – краны; 8 – самоходная тележка;
 9 – склад готовой продукции; 10 – пост распалубки; 11 – пост складирования арматуры;
 12 – пост складирования теплоизоляционных и отделочных материалов

В связи с высоким удельным весом ограждающих конструкций в структуре гражданских и промышленных зданий именно для производства наружных стеновых панелей широкое распространение получили разнообразные конвейерные линии, позволяющие за счёт максимальной механизации и специализации отдельных постов получить высокую производительность и обеспечить требуемое качество готовой продукции [8].

Рассмотрим наиболее часто применяемый вариант организации конвейерного производства наружных стеновых конструкций (рис. 1.2). Изделия изготавливают в перемещаемых формах-вагонетках, которые передвигаются по замкнутому кольцу с помощью гидротолкателей или цепных конвейеров. На формовочной ветви конвейера обычно размещается 8–12 постов, оснащённых специализированным оборудованием для выполнения соответствующих операций. Специализация постов позволяет расчленить процесс формования трёхслойных панелей на 3–4 этапа, каждый из которых выполняется на отдельном посту, что обеспечивает сокращение ритма движения конвейера до 15–20 мин и увеличение производительности. Тепловая обработка может осуществляться в щелевых камерах, размещаемых под формовочной ветвью в несколько ярусов или параллельно линии формования за пределами цеха. Для обслуживания многоярусной щелевой камеры используют гидравлические снижатели и подъёмники, а для выносных камер – передаточные тележки [4].

Другой вариант конвейерной схемы производства наружных панелей заключается в том, что в пролёте одновременно размещены линия формования и параллельно ей линия тепловой обработки и доводки изделий (рис. 1.3, а). Перемещение форм осуществляется по рольгангу.

На линии в качестве теплового агрегата используется вертикальная камера (рис. 1.3, б), в которой за счёт естественного распределения температур по высоте достигается минимальный расход теплоносителя на единицу пропариваемых изделий ($90\text{--}100 \text{ кг/м}^3$) [1].

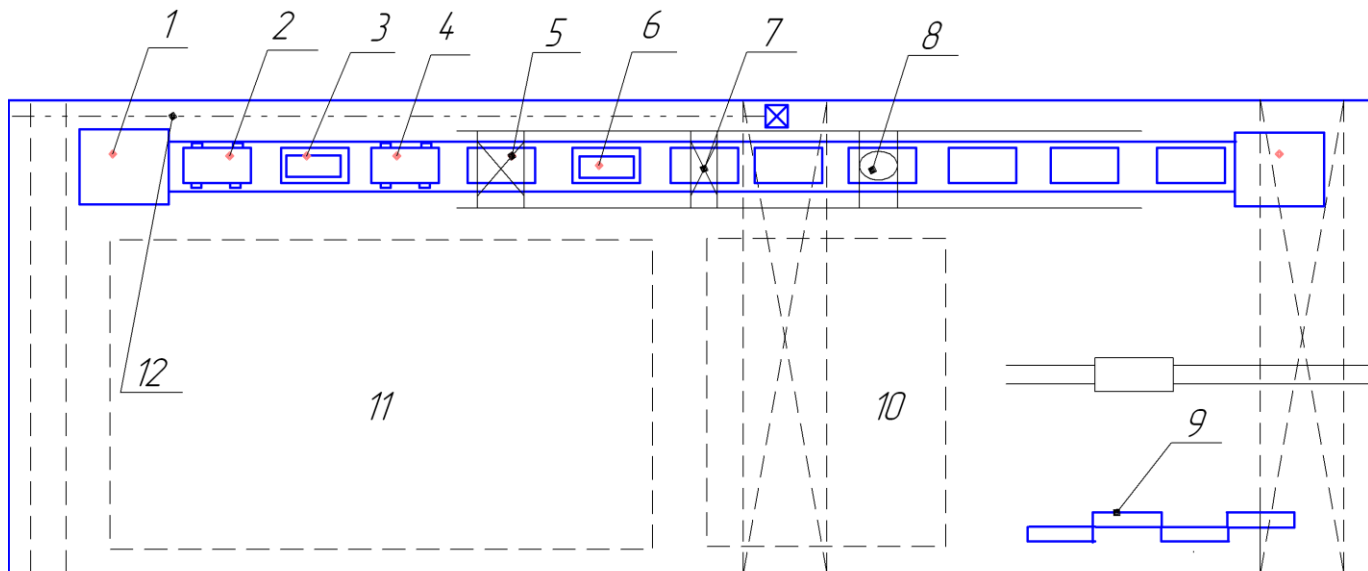


Рис. 1.2. Схема конвейерного производства наружных стеновых панелей:

- 1 – подъёмник и снижатель; 2 – устройство для раскрытия бортов формы; 3 – кантователь;
 4 – устройство для сборки бортов; 5 – бетоноукладчик; 6 – виброплощадка; 7 – раствороукладчик; 8 – заглаживающее устройство;
 9 – конвейер отделки; 10 – пост складирования и выдержки изделий ; 11 – склад арматуры и комплектующих;
 12 – тракт подачи бетонной смеси с накопительным бункером

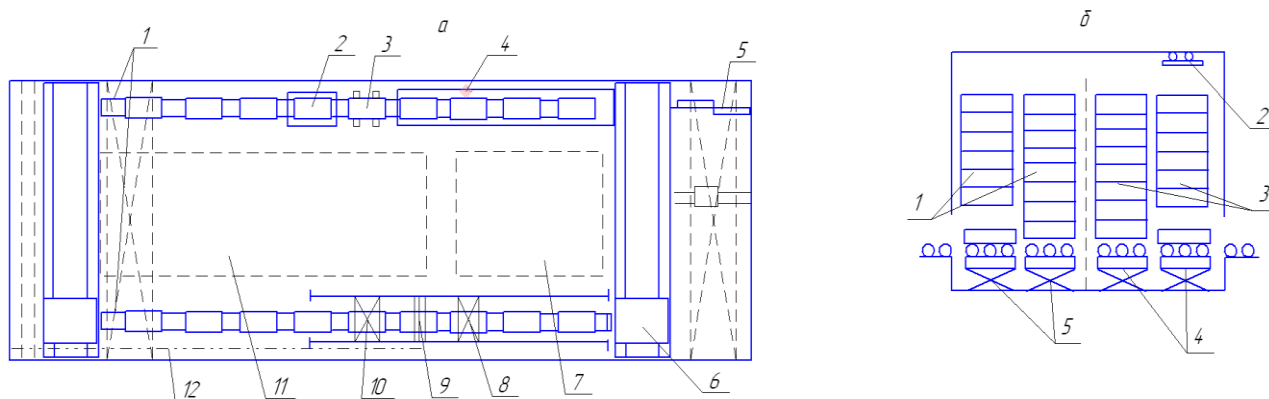


Рис. 1.3. Схема двухветвевой конвейерной линии по производству стеновых панелей:

- а* – план линии: 1 – роликовые конвейеры; 2 – кантователь; 3 – пост распалубки; 4 – вертикальная камера;
 5 – конвейер отделки; 6 – передаточная тележка; 7 – пост складирования комплектующих;
 8 – раствороукладчик; 9 – виброрейка; 10 – бетоноукладчик; 11 – пост складирования арматуры;
 12 – тракт подачи бетонной смеси; *б* – вертикальная камера: 1 – пакет форм перемещаемых вниз;
 2 – траверса с самоходной тележкой для передачи форм в блок снижения; 3 – пакет форм, перемещаемых вверх;
 4 – пневмоподъёмники; 5 – пневмоснижатели

Альтернативой вертикальной камере на двухветвевой линии может быть бескамерная тепловая обработка в пакетах термоформ с системой пакетирующих, которые обеспечивают постепенный подъём и снижение термоформ в процессе тепловой обработки. За счёт подачи теплоносителя в паровые рубашки термоформ обеспечивается двухсторонний прогрев изделий, что, при отсутствии испарения влаги из бетона, способствует повышению качества пропаренных изделий [2].

Суть ещё одного варианта технологической линии с термоформами состоит в том, что тепловая обработка проводится на стационарных постах с индивидуальной подводкой теплоносителя (рис. 1.4, а). С помощью передаточной тележки, оснащенной подъёмной платформой, на каждый пост устанавливаются по три термоформы, что позволяет провести тепловую обработку по оптимальному режиму без длительного простоя ранее отформованных изделий. Кроме того, на линии предусмотрена подача бетонной смеси с помощью самоходного бункера, который, перемещаясь по эстакаде, обеспечивает загрузку бетоноукладчика без использования кранового оборудования (рис. 1.4, б).

Годовая производительность рассмотренных выше конвейерных линий составляет 30–35 тыс. м³ [3]. При необходимости существенного увеличения производительности до 50–55 тыс. м³/год может быть реализована иная технологическая схема (рис. 1.5 [4]). Особенность ее заключается в том, что конвейер подготовки форм с ритмом движения 12–14 мин обеспечивает непрерывную работу двух формовочных участков конвейера, ритм движения которых вдвое медленнее. После формования и отделки поверхности изделия форма-вагонетка с помощью снижателя подаётся на один из ярусов щелевой камеры, где проводится тепловая обработка.

Примером удачного сочетания достоинств агрегатной и стеновой организации производства может служить линия, изображённая на рис. 1.6. Линейно размещённые внутри рельсового пути стационарные рабочие посты с формами обслуживаются двумя самоходными комплектами формовочного, уплотняющего и заглаживающего оборудования. Такая организация производства позволяет сократить цикл формования до 25–30 мин, что характерно для агрегатных и конвейерных линий.

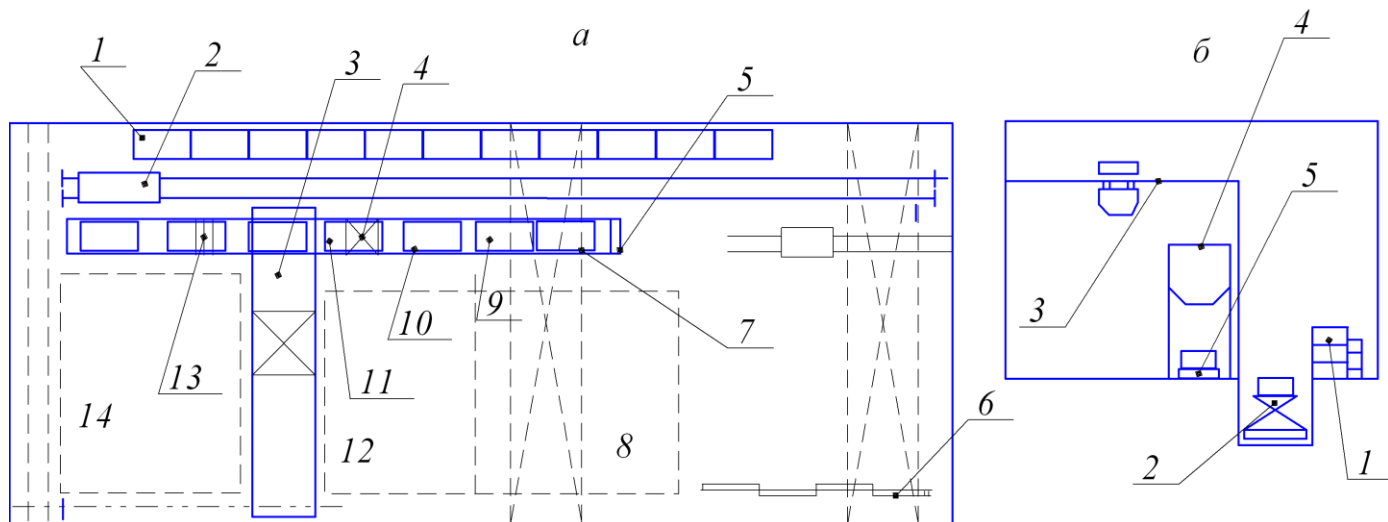


Рис. 1.4. Схема полуконвейерного производства наружных стеновых панелей:

a – план линии; *б* – разрез пролёта; 1 – посты тепловой обработки с пакетами термоформ; 2 – передаточная тележка с подъёмной платформой; 3 – бетоновозная эстакада с самоходным бункером; 4 – бетоноукладчик; 5 – рольганг; 6 – конвейер отделки; 7 – пост распалубки; 8 – пост складирования и выдерживания изделий; 9 – пост чистки и смазки форм; 10 – пост армирования; 11 – виброплощадка; 12 – складирование арматуры; 13 – заглаживающее устройство (реечное); 14 – пост складирования утеплителя

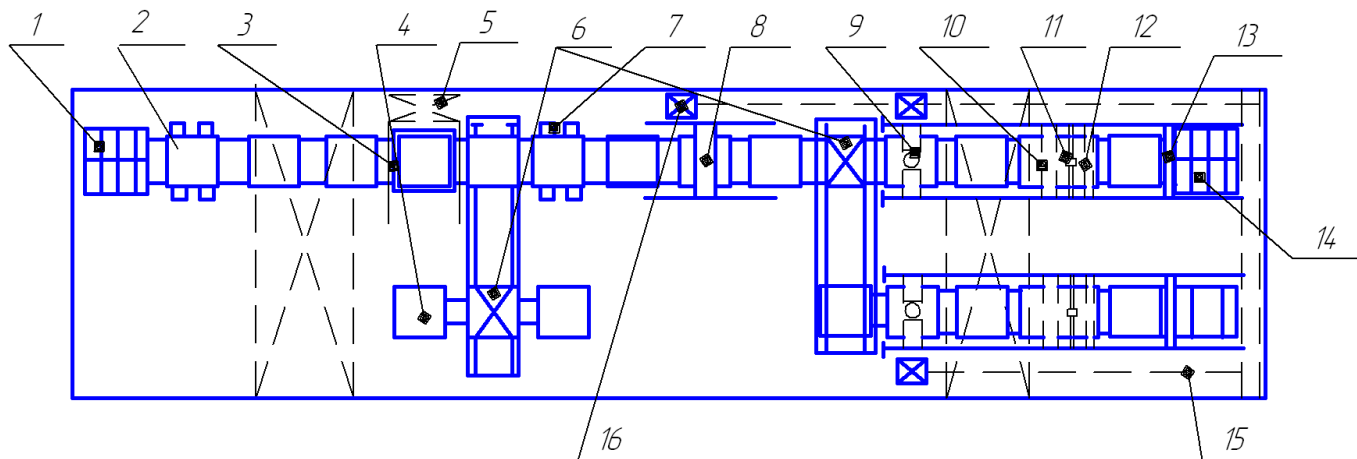


Рис. 1.5. Схема формовочной линии по изготовлению трехслойных наружных стеновых панелей повышенной производительности:

- 1 – подъёмник, 2 – механизм раскрытия бортов; 3 – кантователь; 4 – пост переоснастки; 5 – самоходный портал;
 6 – передаточная тележка; 7 – механизм сборки бортов; 8 – фактуроукладчик; 9 – бетоноукладчик; 10 – вибронасадка;
 11 – затирочные лыжи; 12 – заглаживающий вал; 13 – дисковая заглаживающая машина; 14 – снижатель;
 15 – тракт подачи бетонной смеси; 16 – накопительный бункер

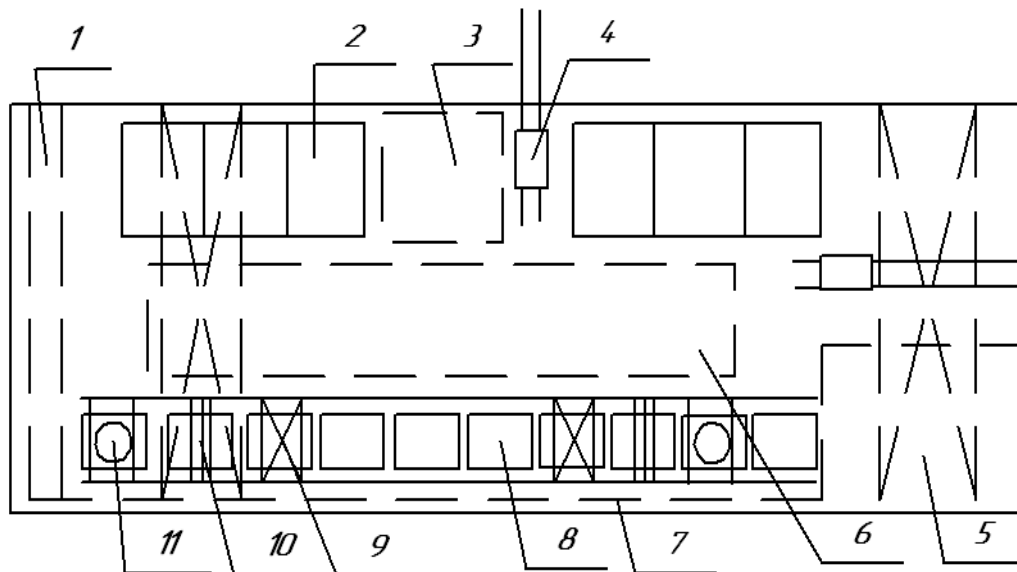


Рис. 1.6. Схема полустенового производства наружных стеновых панелей:

1,7 – транспортеры подачи бетонной смеси; 2 – ямная пропарочная камера; 3 – пост распалубки;
 4 – передаточная тележка; 5 – склад готовой продукции; 6 – зона складирования комплектующих;
 8 – стационарные посты стеновой линии; 9 – бетоноукладчик; 10 – реечное виброуплотняющее устройство;
 11 – заглаживающее устройство

После формования изделие в форме краном подаётся в ямную пропарочную камеру, освобождая стационарный пост для следующей формы, подаваемой с поста распалубки. Таким образом устраняется основной недостаток стендового производства – низкая производительность из-за длительной оборачиваемости стендов.

За рубежом широкое распространение получили стендовые линии по производству трёхслойных панелей методом экструзии [14]. Такая технология особенно эффективна для конструкций промышленных зданий в силу их большей унификации и крупноразмерности. Особенности экструзионного формования будут рассмотрены отдельно, поскольку оно наиболее характерно для плитных конструкций (ребристые, многопустотные, дорожные и т.д.).

Хотя к настоящему моменту функционирует большое количество разнообразных линий по производству наружных стеновых конструкций, поиск оптимального сочетания производительности, металлоёмкости, трудозатрат и других показателей эффективности продолжается.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость перехода к многослойной конструкции стеновых ограждений?
2. Каково назначение отдельных слоев ограждающих конструкций?
3. Перечислите возможные способы производства ограждающих конструкций.
4. Объясните, в чем разница между изготовлением ограждающих конструкций методом «лицом вверх» и «лицом вниз».
5. Обоснуйте актуальность конвейерных линий для изготовления ограждающих конструкций.
6. Перечислите технологические приемы, повышающие эффективность тепловой обработки ограждающих конструкций.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ВНУТРЕННИХ СТЕН, ПЕРЕГОРОДОК И ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

Конструкции этой группы, исходя из особенностей их работы, изготавливают из тяжёлого бетона класса В15-25. Внутренние стены и перегородки армируют конструктивно пространственными каркасами для восприятия транспортных и монтажных нагрузок. В плитах перекрытий жилых зданий с малым шагом поперечных стен в качестве рабочей обычно используют арматуру класса А-III диаметром 10–14 мм без предварительного напряжения, поскольку перекрываемые пролёты не превышают трёх метров. Для жилых зданий с большим шагом поперечных стен в качестве плит перекрытий применяют многопустотные преднапряженные плиты [3], особенности изготовления которых будут рассмотрены отдельно. Кроме того, к данным конструкциям предъявляются повышенные требования по качеству отделки поверхностей, т.к. ими формируются внутренний объём жилых помещений.

Отличительной особенностью изделий данной номенклатурной группы является плитный характер конструкций с большими открытыми поверхностями при толщине не более 180 мм. Производство таких изделий в горизонтальном положении нерационально из-за низкого съёма продукции с единицы производственной площади и трудоемкости получения качественной лицевой поверхности, поэтому применяют специальные кассетные установки, обеспечивающие формование изделий в вертикальном положении (рис. 2.1).

В каждой кассете одновременно изготавливают 8–12 изделий. Последовательно отсеки кассеты чистят, смазывают и армируют. Перемещение отсечных перегородок в процессе сборки и разборки кассеты производят с помощью рычажной гидросистемы. После укладки бетонораздатчиком и уплотнения бетонной смеси навесными вибраторами в паровые отсеки кассеты подают теплоноситель для ускоренного твердения бетона.

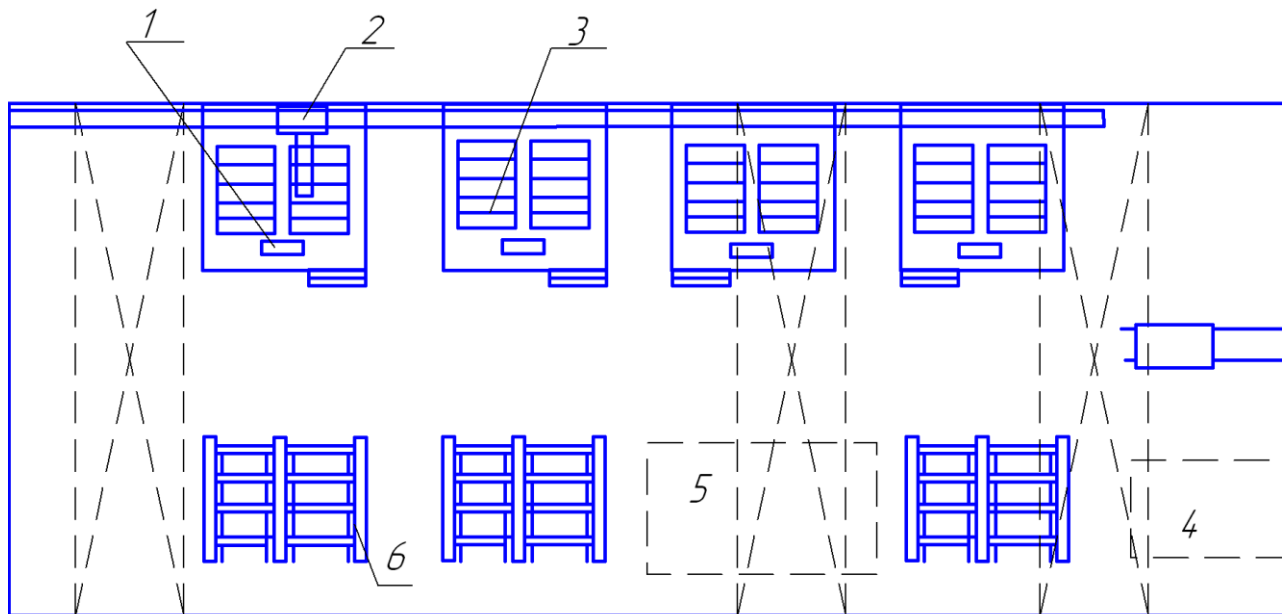


Рис. 2.1. Схема кассетного производства панелей внутренних стен, перегородок и панелей перекрытия:

1 – пульт управления; 2 – консольный бетонораздатчик; 3 – кассетная установка (4–8 шт); 4 – склад готовой продукции; 5 – пост складирования арматурных изделий; 6 – кассеты дозревания

Поскольку тепловое расширение бетона ограничивается конструкцией кассетной установки, то возможно применение жёстких режимов тепловой обработки, а именно: скоростной прогрев за 1–2 ч без предварительной выдержки и изотермическое выдерживание при температуре 90–95 °С в течение 4–6 ч [10]. При достижении изделиями распалубочной прочности отсеки кассеты последовательно распалубливают, а изделия устанавливают в кассеты дозревания до набора отпускной прочности.

Компактность и достаточно высокая производительность способствуют широкому внедрению кассетных установок на заводах сборного железобетона. Вместе с тем в процессе эксплуатации выявлен ряд недостатков: укладка бетонной смеси производится в узкие и высокие отсеки кассеты при минимальном вибрационном воздействии, поэтому приходится применять высокоподвижные и литые смеси, которые склонны к расслоению. Для повышения их однородности и нерасслаиваемости увеличивают расход цемента сверх требуемого по закону водоцементного отношения (В/Ц). Поэтому для кассетного производства средний расход цемента составляет 400–450 кг/м³, что на 100–120 кг больше, чем для равнопрочных конструкций при других методах формования [1].

Выявленные недостатки кассетного производства могут быть решены за счёт введения в бетон различных добавок. Опыт применения пластифицирующих добавок (ЛСТ, С-3, НИЛ-10, НИЛ-20 и т.д.) на ряде заводов доказал возможность снижения расхода цемента в равноподвижных бетонных смесях на 10–15 % [5]. Однако из-за присутствия этих добавок усиливается эффект расслоения бетонных смесей в процессе транспортирования, укладки и уплотнения, поэтому для кассетного производства целесообразней применять комплексные добавки. В частности, на комбинате «Братскжелезобетон» широко используется пластифицирующе-воздухововлекающая добавка – чёрный сульфатный щёлок (ЧСЩ) – промежуточный продукт сульфатной варки целлюлозы Братского лесопромышленного комплекса [11]. В дополнение к пластифицирующему эффекту небольшой объём вовлеченного воздуха (2–4 %), образующийся при введении ЧСЩ, структурирует бетонную смесь и препятствует её расслоению. Повышенная щелочность добавки способствует также ускоренному набору прочности

бетона, что в кассетном производстве особенно ценно. Дозировка добавки не превышает 0,2 % от массы цемента.

С целью снижения расхода цемента на комбинате «Братскжелезобетон» применяют высокодисперсные отходы топливно-энергетического комплекса – золы-уноса ТЭЦ-7 и ТЭЦ-6, а после введения в эксплуатацию цеха кристаллического кремния на Братском алюминиевом заводе – микрокремнезём [13]. Эти отходы за счёт высокой дисперсности способны адсорбировать большие объёмы воды, что препятствует расслоению бетонных смесей. Кроме того, зола-унос и микрокремнезём содержат аморфный реакционноспособный кремнезём, который может в процессе тепловой обработки взаимодействовать с гидроксидом кальция, образуя низкоосновные гидросиликаты кальция. Это обеспечивает повышение плотности и прочности бетона при возможности снижения расхода цемента на 15–20 % [12].

Разработанный НИИЖБ модификатор бетона МБ-01 на основе микрокремнезёма и суперпластификатора С-3 может быть рекомендован к применению в кассетных установках, т.к. позволяет при низком В/Ц получать высокоподвижные и нерасслаиваемые бетонные смеси [9].

Кассетная технология, являясь разновидностью стендового способа производства, предусматривает последовательное выполнение всех технологических операций, что удлиняет производственный цикл и ограничивает рост производительности.

Различные варианты устранения отмеченных недостатков кассетного производства были реализованы в многочисленных технологических линиях в стране и за рубежом.

Двухсторонние кассетные установки (рис. 2.2, а) позволяют увеличить производительность за счёт последовательного выполнения операций разборки, сборки и формования в одной части кассеты и тепловой обработки – в другой. Кроме того, одновременное использование глубинных и навесных вибраторов (рис. 2.2, б) способствует эффективному уплотнению менее подвижных бетонных смеси с осадкой конуса (ОК) 8–10 см и сокращению расхода цемента до 350 кг/м³.

Стремление организовать в кассетных установках непрерывное формование привело к разработке кассетно-конвейерных линий. Рассмотрим в качестве примера линию с поотсечным непрерывным формованием (рис. 2.3). Подвесной транспортный путь в виде монорельса обеспечивает перемещение форм по технологическим постам. После тепловой обработки на посту распалубки

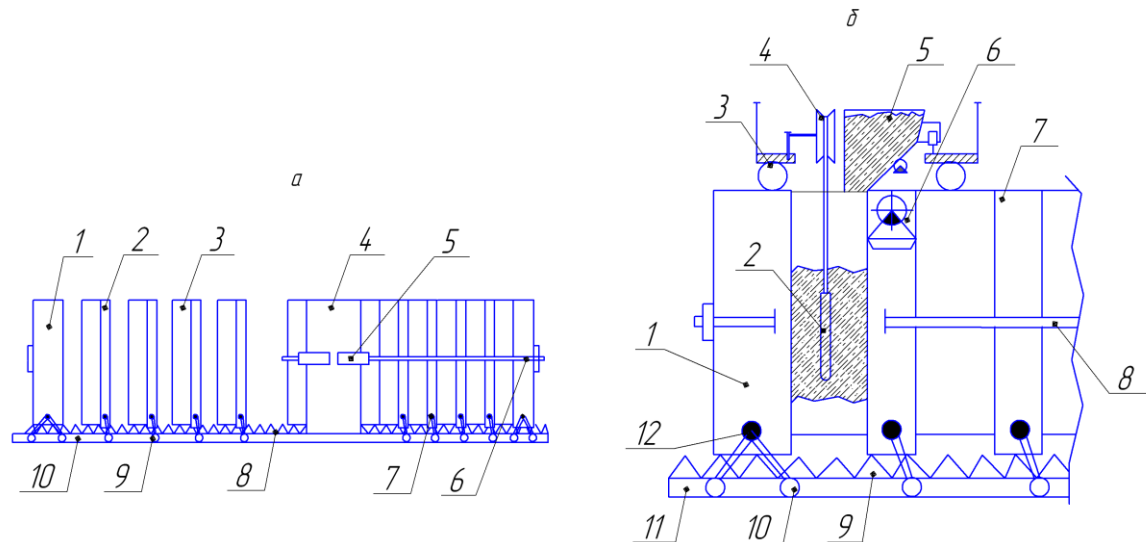


Рис. 2.2. Двухсторонняя кассетная установка:

a – вид кассеты сбоку: 1 – подвижная опорная стенка; 2 – промежуточная перегородка; 3 – бортоснастка;
 4 – неподвижная опорная стенка; 5 – гидроцилиндр; 6 – тяговая штанга; 7 – сквозной вал с зубчатыми шестернями;
 8 – зубчатая рейка; 9 – роликовая опора; 10 – направляющая шина; *б* – разрез кассеты с формуемым отсеком: 1 – подвижная опорная стенка; 2 – глубинный вибратор; 3 – порталное устройство; 4 – механизм перемещения глубинного вибратора; 5 – бункер раздатчик бетонной смеси; 6 – навесной вибратор; 7 – промежуточная перегородка; 8 – тяговая штанга; 9 – зубчатая рейка; 10 – роликовая опора;
 11 – направляющая шина; 12 – сквозной вал с зубчатыми шестернями

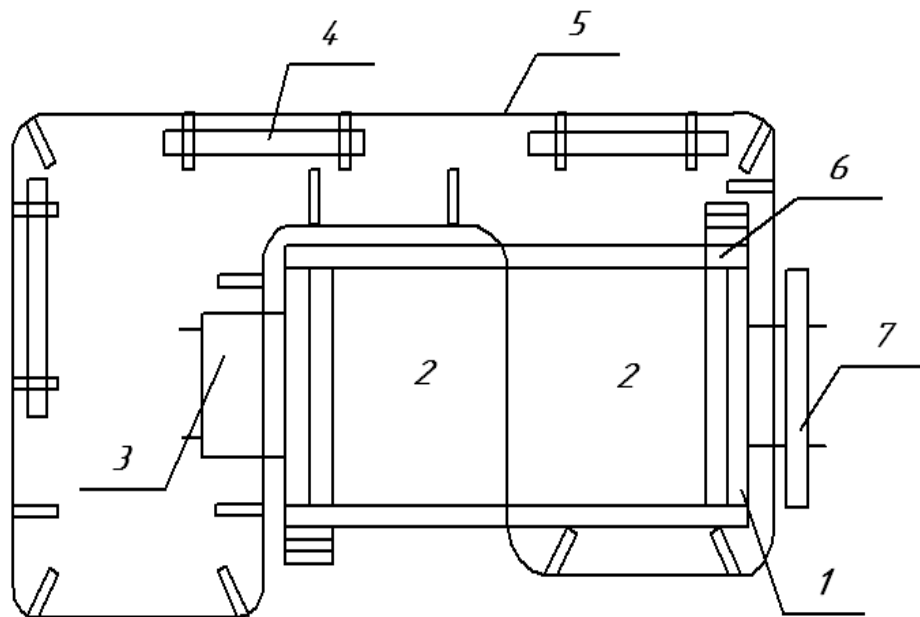


Рис. 2.3. Схема кассетно-конвейерной линии с подвесным транспортным путем на Софийском ДСК:

1 – пост формования; 2 – посты термообработки; 3 – пост распалубки; 4 – пост комплектации;
5 – подвесной путь; 6 – площадка обслуживания; 7 – установочная тележка с прижимным щитом

форма навешивается на монорельс и перемещается последовательно по постам чистки, смазки и комплектации. Подготовленная форма с помощью установочной тележки и системы гидротолкателей подсоединяется к кассете, передвигая её при этом на один шаг, равный толщине формы. Для подачи и укладки бетонной смеси используют бетононасос с системой трубопроводов, а для ее уплотнения – навесные вибраторы прижимного щита. Тепловая обработка осуществляется за счёт двухстороннего контактного обогрева через паровые отсеки формы в течение 6–8 ч. Хотя непрерывное формование обеспечивает высокую производительность линии, проблема подвижных бетонных смесей с повышенным расходом цемента остается нерешённой.

Один из вариантов решения этой задачи реализован на касетно-конвейерной линии с подвижными щитами (рис. 2.4, *а*). В отличие от линии, показанной на рис. 2.3, в данном случае к кассете подсоединяется блок, состоящий из формы на два изделия и наружного щита в виде теплового отсека. Форма оснащена подвижным щитом, который перед формованием поднимается гидropодъёмником в крайнее верхнее положение. Размещенные на формовочном посту в два ряда вибробункера загружаются бетонной смесью из консольного бетонораздатчика. Формование осуществляется за счёт одновременной подачи вибрируемой бетонной смеси в форму и опускания подвижного щита (рис. 2.4, *б*), что позволяет использовать малоподвижные бетонные смеси с ОК = 1–2 см с пониженным расходом цемента. При подаче следующего блока на пост формования вся кассета сдвигается на один шаг. Одновременно с противоположной стороны кассеты отсоединяется блок, прошедший тепловую обработку. Наружный щит блока перевешивается на форму, подаваемую на пост формования. Форма с двумя панелями передаётся на пост распалубки, где изделия извлекаются и краном передаются в камеру дозревания. Далее форма чистится, смазывается и комплектуется арматурным каркасом, вкладышами, каналообразователями и т. д. Подготовленная форма на передачной тележке оснащается наружным щитом и подаётся на пост формования. Таким образом, за счёт эффективного решения проблем касетного производства удаётся обеспечить высокую производительность линии и оптимизировать расход цемента.

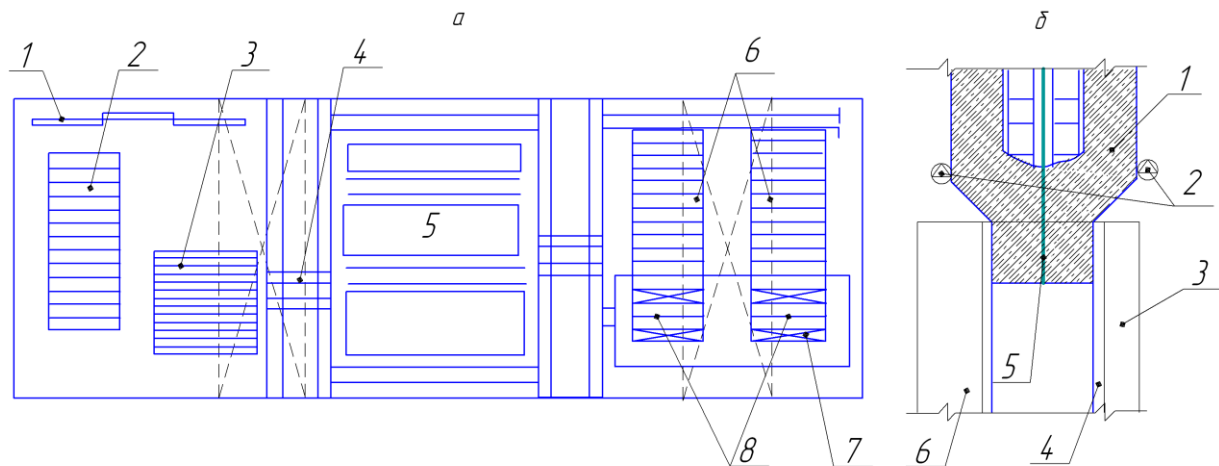


Рис. 2.4. Схема кассетно-конвейерной линии с подвижными щитами на Парнасском ДСК:

- а* – план линии: 1 – конвейер отделки; 2 – кассета дозревания; 3 – пост переоснастки форм; 4 – передаточная тележка; 5 – посты распалубки, чистки, смазки и комплектации форм; 6 – кассета; 7 – бункер; 8 – подвижный щит на два изделия;
- б* – разрез формовочного поста: 1 – бункер; 2 – вибратор; 3 – прижимной щит; 4 – наружный тепловой щит; 5 – подвижный щит на два изделия; 6 – кассета

Поскольку тепловая обработка остаётся самым длительным технологическим переделом, разрабатываются различные технологические и организационные приёмы по сокращению её продолжительности. Линия, представленная на рис. 2.5, *а*, предполагает двухстадийную тепловую обработку. Первая стадия осуществляется на постах формования до набора распалубочной прочности, а вторая – в туннельных камерах до набора отпускной прочности. Двухместная форма с линии подготовки подаётся на один из формовочных постов, оснащенных подвижными щитами с рычажной гидросистемой (рис. 2.5, *б*). Из самоходного бункера бетонная смесь укладывается в форму и уплотняется навесными вибраторами, размещёнными на наружных щитах. Формование совмещается с контактным двухсторонним обогревом через щиты и перегородку формы для ускоренного твердения бетона. С этой же целью используют предварительный пароразогрев бетонной смеси до температуры 40°–60°С [15]. За один час изделия приобретают распалубочную прочность, что позволяет отсоединить наружные щиты и подать форму в туннельную камеру на вторую стадию тепловой обработки. При этом формовочный пост освобождается для следующего формовочного цикла. Размещение в пролёте 4–5 формовочных постов обеспечивает непрерывное формование и в целом высокую производительность линии.

Двухстадийная тепловая обработка предусмотрена и на линии, изображённой на рис. 2.6. Формование и первая стадия тепловой обработки осуществляются на полукруглом конвейере, что позволяет оптимизировать технологические потоки и исключить встречные и возвратные перемещения. С линии подготовки двухместная форма-вагонетка через передаточную тележку подаётся на круговой конвейер, поворотный круг которого устанавливает форму на пост укладки бетонной смеси. Продолжительность укладки и распределения бетонной смеси определяет ритм поворота конвейера. Применение горячих бетонных смесей и контактного прогрева изделий на остальных постах полукруглого конвейера позволяют за 1,5 часа получить распалубочную прочность бетона и после съёма наружных щитов передать форму в туннельную камеру на вторую стадию тепловой обработки.

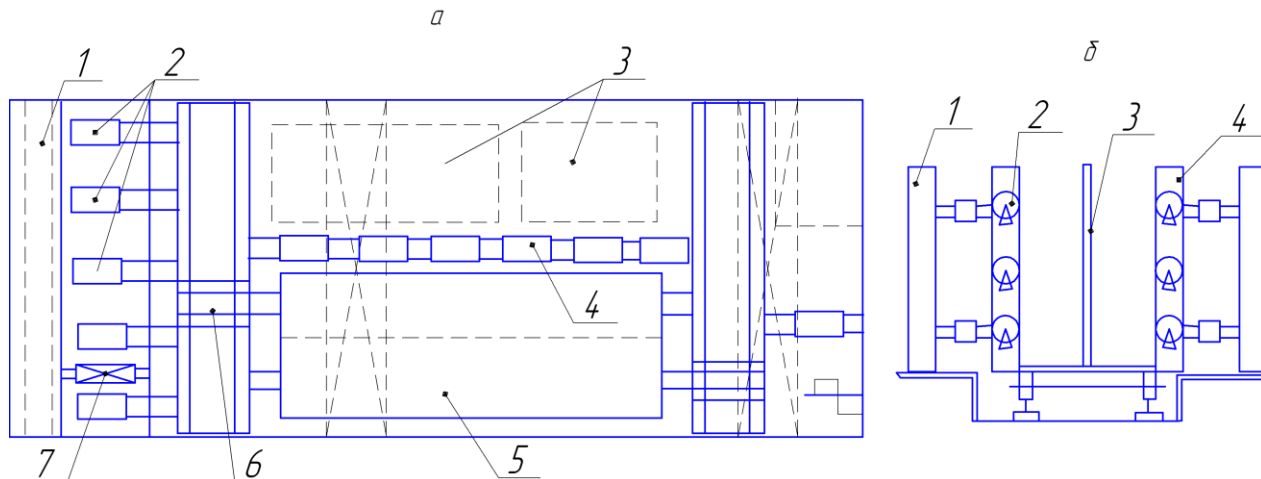


Рис. 2.5. Схема кассетно-конвейерной линии изготовления панелей внутренних стен, перегородок и плит перекрытий с двухстадийной тепловой обработкой:

- a* – план линии: 1 – тракт подачи бетонной смеси; 2 – посты формования (4–5 шт);
 3 – зоны складирования комплектующих; 4 – линия распалубки и подготовки форм; 5 – туннельная камера;
 6 – передаточная тележка; 7 – самоходный бункер; *б* – разрез формовочного поста кассетно-конвейерной линии:
 1 – опорные стенки; 2 – навесные вибраторы; 3 – форма; 4 – подвижные щиты с рычажной гидросистемой

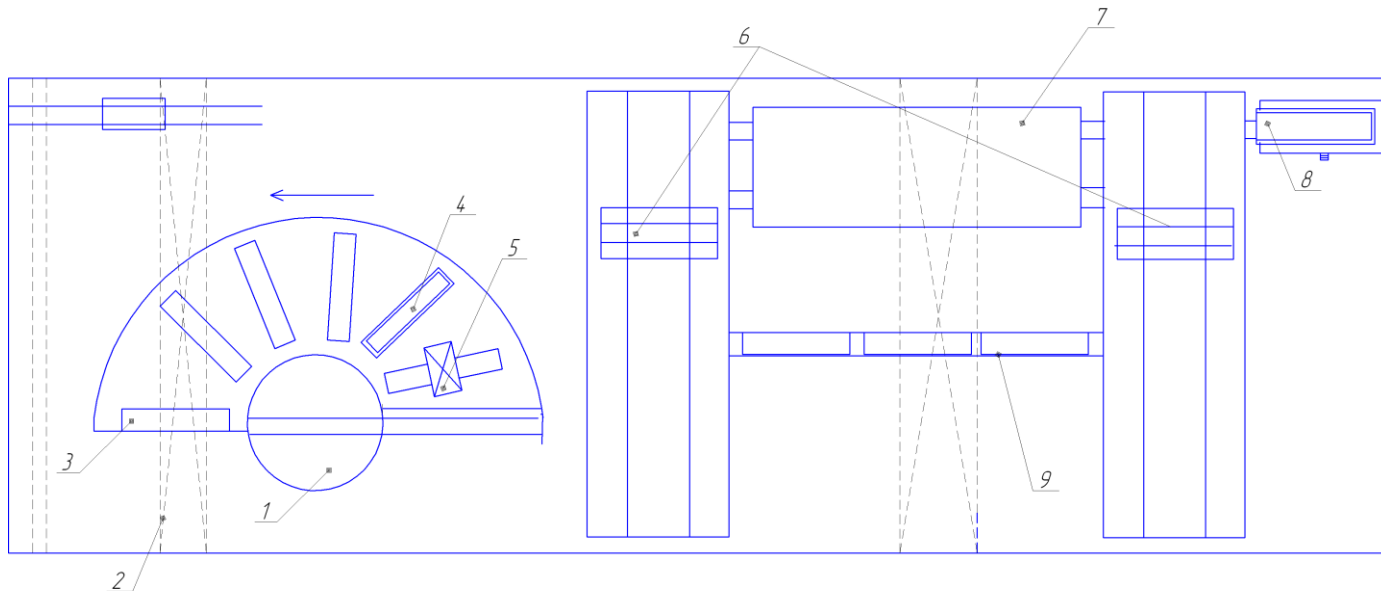


Рис. 2.6. Схема кассетно-конвейерной линии вертикального формирования с полукруглым конвейером:

- 1 – поворотный круг кругового конвейера; 2 – кран грузоподъемностью 5 т; 3 – вагонетки на круговом конвейере;
 4 – подъемная виброплощадка; 5 – бетоноукладчик; 6 – передаточная тележка; 7 – туннельная камера;
 8 – пост переоснастки форм; 9 – конвейер подготовки форм

Процесс распалубки для кассетного производства является самым трудоёмким и часто приводит к выбраковке изделий. Большие поверхности сцепления стенок отсеков кассеты и боковых поверхностей изделий, а также неразборность боковой бортоснастки приводят к заклиниванию изделий и частому их повреждению из-за невысокой прочности бетона. Частично эта проблема может быть решена на линиях с клиновыми формами (рис. 2.7, *а*). Кассетная установка состоит из неподвижных клиновидных тепловых отсеков, между которыми запрессовываются клиновые двухместные формы с тепловым внутренним отсеком (рис. 2.7, *б*). Передаточная тележка служит для установки подготовленной формы с поста распалубки и подготовки ее в один из 16 отсеков кассеты, а также извлечения из кассеты формы с изделиями, прошедшими первую стадию тепловой обработки, и подачи её на пост распалубки.

Для укладки и уплотнения бетонной смеси используют самоходный портал, аналогичный приведённому на рис. 2.2, *б*. Бетонную смесь к посту формирования подают бетонораздатчиком.

После формования в тепловые отсеки подают пар, и через шесть часов изделия приобретают распалубочную прочность, что позволяет извлечь форму с изделиями. После распалубки изделия выдерживают в камере дозревания ещё шесть часов до набора ими отпускной прочности. В целом линия отличается меньшей металлоёмкостью, протяжённостью транспортных путей и трудоёмкостью работ, чем большинство кассетно-конвейерных линий.

При производстве плитных конструкций в горизонтальном положении высокая производительность, сопоставимая с производительностью кассетно-конвейерных линий, может быть получена на вибропрокатных станах конструкции инженера Н.Я. Козлова (рис. 2.8, *а*) за счёт непрерывного движения формирующей ленты со скоростью до 30 м/ч [4]. На пластинчатом конвейере выполняются все технологические операции, включая установку бортоснастки, армирование, укладку и уплотнение бетонной смеси, ускоренную тепловую обработку и отделку. Для непрерывной укладки бетонной смеси над линией смонтирован шнековый бетоносмеситель непрерывного действия, обеспечивающий равномерную подачу бетонной смеси на формирующую ленту конвейера.

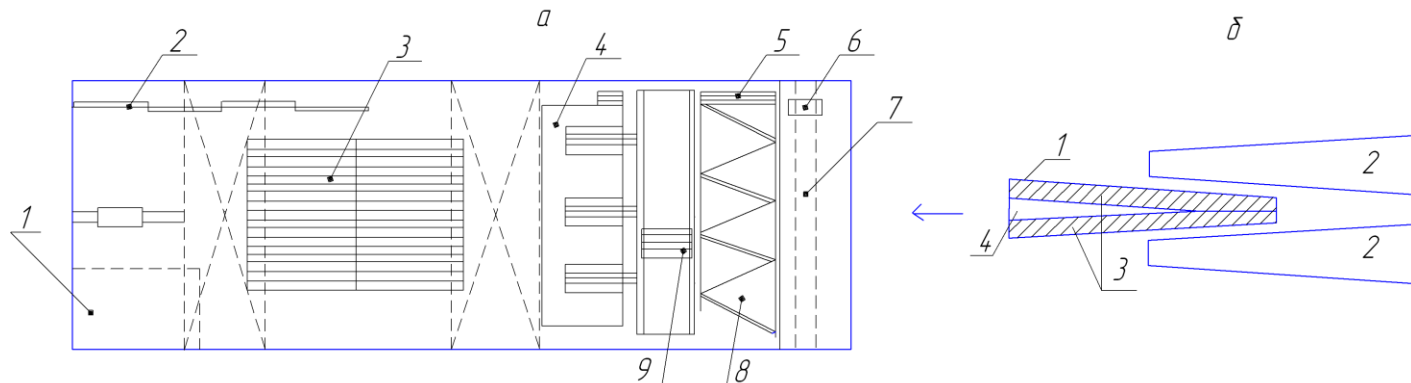


Рис. 2.7. Схема кассетно-конвейерной линии с клиновыми формами:

a – план линии: 1 – склад готовой продукции; 2 – конвейер отделки; 3 – камера дозревания; 4 – пост распалубки и подготовки форм; 5 – самоходный портал с бункерами и гребённой вибраторов; 6 – бетонораздатчик; 7 – тракт подачи бетонной смеси; 8-16 – отсечная кассета с клиновыми формами; 9 – передаточная тележка; *б* – схема разборки кассеты: 1 – перемещаемая клиновидная двухместная форма; 2 – стационарные тепловые отсеки; 3 – изделия; 4 – тепловой отсек формы

Использование жёстких бетонных смесей ($J = 10\text{--}20\text{ с}$), разогретых до температуры $40\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$, позволяет осуществить форсированную тепловую обработку всего за $2,0\text{--}2,5\text{ ч}$. В щелевой камере синхронно с изделиями движется прорезиненная лента, через которую прижимные ролики подпрессовывают бетонную смесь, препятствуя разрыхлению поверхностных слоёв и обезвоживанию бетона при быстром подъёме температуры (рис. 2.8, б). Несмотря на используемые технологические приёмы, столь быстрое изготовление изделий всего за $3,0\text{--}3,5\text{ ч}$ требует очень высоких расходов цемента (более 500 кг/м^3 для бетона В15). Высокая металлоёмкость нестандартного оборудования создаёт дополнительные препятствия широкому внедрению вибропрокатных станов на заводах сборного железобетона [2].

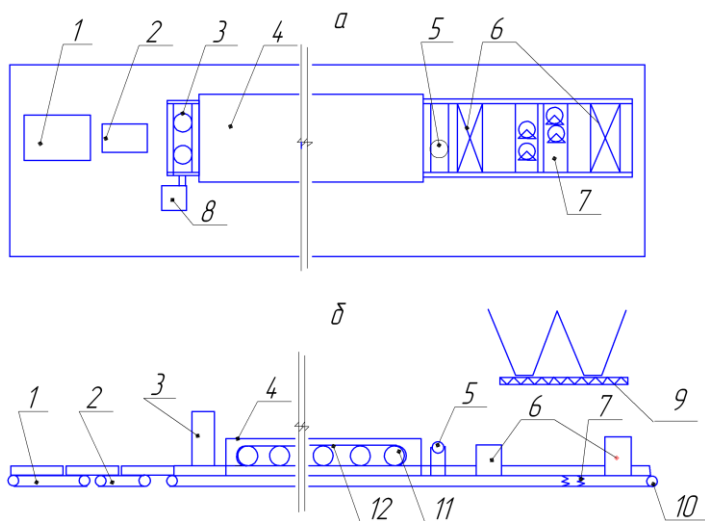


Рис. 2.8. Схема вибропрокатного стана:

- а* – план линии; *б* – разрез линии; 1 – контователь; 2 – обгонный конвейер;
 3 – шпаклёвочная машина; 4 – камера тепловой обработки; 5 – заглаживающее
 устройство с виброрейкой; 6 – бетоноукладчик; 7 – вибробалка; 8 – привод стана;
 9 – шнековый смеситель; 10 – натяжное устройство стана;
 11 – прижимные ролики; 12 – прорезиненная лента с функциями теплоизоляции

Технические параметры некоторых из рассмотренных линий по производству внутренних стен, перегородок и плит перекрытий приведены в табл. 1.

Стремление устранить все недостатки кассетных установок в рамках одной технологической линии приводит к существенному усложнению и росту металлоёмкости производства, поэтому проектные и конструкторские работы по оптимизации технико-экономических параметров линий продолжаются.

Контрольные вопросы

1. Перечислите конструктивные и технологические особенности внутренних стен и перегородок.
2. Обоснуйте актуальность применения кассетных установок для производства внутренних стен и перегородок.
3. Перечислите технологические приемы, позволяющие снизить удельный расход цемента в кассетном производстве.
4. Каковы существенные особенности кассетно-конвейерных линий по производству внутренних стен и перегородок?

Таблица 1

Технические параметры кассетных и кассетно-конвейерных линий

Показатели	Характеристики линий (проектировщик или базовый завод)						
	Типовое кассетное производство (Гипростроймаш)	Двухсторонние кассеты (Финская фирма Partex)	Кассета с непрерывным формованием (Софийский ДСК, Болгария)	Линия с подвижными щитами (Парнасский ЗСК, г. С-Петербург)	Линия с двухстадийной тепловой обработкой (Калининский ДСК)	Линия с полукруглым конвейером (Гипростроймаш)	Линия с клиновыми формами (Таллиннский ДСК)
1	2	3	4	5	6	7	8
Производительность, м ³ /г.	50 000	40 000	60 000	50 000	35 000	50 000	60 000
Способ формования	Наружная вибрация	Глубинная вибрация	Вибрация прижимного щита	Подвижные щиты	Вибрация щитов	Виброплощадка	Глубинная вибрация
Ритм формования, мин	1 оборот кассеты в сутки	1 оборот кассеты в сутки	20	14 (2 изделия)	12 (2 изделия)	20 (2 изделия)	18 (2 изделия)
Расход цемента для бетона В15, кг/м ³	400–420	350	400–420	300	350	320	380

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Длитель-ность тепловой обра- ботки, ч	9,5	7	8	7	2,0–8,5	1,5– 6,0	6–6
Необходимая ширина техно- логи-ческого пролёта, м	18	24	24	24	18	18	18
Масса техноло- гического обо- рудования, т	1265	980	1100	1580	1400	1500	950

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

Проблема перекрытий в строительной практике является одной из самых сложных, поэтому способы её решения свидетельствуют об уровне развития науки, техники и технологии.

Достаточно трудно совместить в одном материале максимальную прочность на изгиб при минимальной массе, а именно это требование предъявляется к перекрытиям. Дополнительно усложняет задачу обязательное выполнение условий пожаробезопасности и долговечности.

Поскольку ни дерево, ни каменные материалы, ни металл в полной мере не удовлетворяют необходимым требованиям, то бетон, а позднее железобетон постепенно заняли ведущее место в конструкциях перекрытий, особенно в массовом жилищном и гражданском строительстве. Для преодоления главных недостатков бетона как материала для перекрытий, связанных с низкой прочностью на изгиб и высокой плотностью, были реализованы два предложения, значительно повысивших эффективность перекрытий.

Введение в бетон металлической арматуры, вначале ненапрягаемой, а затем преднапряжённой, позволило получить материал, пригодный по прочности на изгиб для перекрытия пролётов до 12 м, а максимально возможное удаление бетона из растянутой зоны за счёт пустот или ребристой конфигурации плит позволило снизить их массу и увеличить перекрываемые пролёты до 18 и более метров. Данные предложения относятся к 30-м годам XX века, но до сих пор востребованы в строительной практике. Кроме того, в структуре производимых железобетонных конструкций плиты перекрытий занимают до 30 %, оставаясь самым массовым изделием, используемым практически во всех конструктивных схемах зданий [24].

3.1. Многopустотные плиты перекрытий

Прообразом современных пустотных плит в нашей стране явились однопустотные балки длиной до 6 м и сечением 0,27×0,21 м, которые были изготовлены на Московском заводе

ЖБИ-5 в конце 30-х годов под руководством В.В. Михайлова и в первые были использованы при строительстве автотракторного института[16].

При производстве пустотных плит самым технически и технологически сложным оказалось устройство пустот. Как уже отмечалось, с помощью пустот удаётся снизить массу плиты и тем самым увеличить полезную нагрузку на 1 м^2 перекрытия. Следовательно, объём пустот желателен увеличивать, но, с другой стороны, это требует повышенной прочности от тонких перегородок между пустотами и верхней полки над пустотами. Высокая прочность в тонких стенках может быть обеспечена за счёт высокопрочных бетонов с повышенным расходом цемента и пониженным В/Ц. Для плит перекрытий как наиболее массовой продукции высокий расход цемента неприемлем по экономическим соображениям, поэтому совершенствование технологии изготовления пустотных плит пошло по пути снижения В/Ц и интенсификации способов уплотнения жёстких бетонных смесей.

Экспериментально были опробованы различные варианты конфигурации пустот: круглые, прямоугольные, горизонтально- и вертикально-овальные, сложные и фигурных очертаний. При этом общая пустотность плит колебалась от 40 до 80 % [16]. Однако чем сложнее конфигурация пустот, тем выше трудоёмкость изготовления линии, и ниже ее производительность, поэтому наиболее массово выпускаются пустотные плиты с круглыми пустотами, а их и общая пустотность достигает 50 % [14].

Ещё одной сложной проблемой, возникшей при организации производства пустотных плит, явилось извлечение пустотообразователей из изделия. Были опробованы различные варианты. Один из них предусматривал влечение вкладышей после тепловой обработки изделия, но из-за большой поверхности сцепления это приводило зачастую к разрушению тонких стенок над и между пустотами, т.е. браку. Пустотообразователи, оставляемые в отформованном изделии на 2-4 часа для набора бетоном распалубочной прочности и извлекаемые перед тепловой обработкой, снижают процент брака, но увеличивают трудоёмкость изготовления конструкций и снижают производительность из-за технологических простоев.

В варианте с немедленной распалубкой изделий предусматривается создание мощного уплотняющего оборудования, обеспечивающего высокую прочность свежееотформованного бетона.

Были опробованы также различные варианты конструкции пустотообразователей: разборные, складные, резиновые, надувные, брезентовые и т.д. [16], однако только металлические позволили получить стабильно высокие результаты при массовом производстве.

Придание пустотообразователям конической формы по длине для облегчения распалубки привело к необоснованному удорожанию и усложнению технологии их изготовления, поэтому данный вариант остался на уровне экспериментальных образцов.

Существенно облегчить процесс распалубливания, а главное – повысить качество уплотнения жестких бетонных смесей позволило размещение внутри вкладышей вибраторов. Вибровкладыши получили широкое применение при различных способах производства пустотных плит [3].

Для максимально эффективного уплотнения особо жестких смесей, кроме вибровкладышей, используют вибропригрузы. Пригруз предназначен для повышения распалубочной прочности отформованного бетона в тонких стенках над пустотами, а также для предотвращения смещения верхнего слоя бетона и образования в нём поперечных трещин при извлечении пустотообразователей [16]. Оснащение пригруза вибраторами усиливает отмеченные эффекты.

Оборудование формовочных постов виброплощадками расширяет возможности линий по выпуску широкой номенклатуры изделий. Возможен вариант формования пустотных плит на виброплощадке с использованием вибропригруза и формовочной машины с пустотообразователями без встроенных вибраторов, особенно если диаметр вкладышей не позволяет разместить в них вал с дебалансами [16]. Экспериментальные работы доказали низкую эффективность как низко-, так и высокочастотных виброплощадок, поэтому на заводах преимущественно используют виброплощадки с частотой 50 Гц.

Комплексное уплотнение бетонной смеси за счёт вибраторов, размещенных в пустотообразователях и на пригрузе, а также виброплощадок обеспечивает максимально эффективное уплотнение

особо жёстких смесей и достаточную прочность свежеотформованного бетона.

Требования к бетонной смеси и бетону для производства пустотных плит определяются в значительной степени технологическими особенностями изготовления. Класс бетона по прочности варьируется в пределах В15÷В25 в зависимости от длины плиты и расчётных нагрузок. В качестве вяжущих предпочтительно использовать высокопрочные (марки не ниже ПЦ 400-ДО) алитовые портландцементы, обеспечивающие быстрый набор прочности. Поскольку должна быть достигнута высокая прочность и связность свежеотформованной смеси, то в качестве заполнителей рекомендуется применять фракционированный щебень с максимальной крупностью 20 мм и крупнозернистый песок с $M_{кр} > 2$. Применение пластифицирующих добавок при производстве пустотных плит малоэффективно, поскольку особенности формирования предполагают использование достаточно «жирных» бетонных смесей с расходом цемента не ниже 300–350 кг на 1 м³ бетона. По удобоукладываемости используемые бетонные смеси должны быть максимально жёсткими (марки ЖЗ, Ж4).

Как уже отмечалось, армирование позволило существенно увеличить перекрываемые пролёты. Его объём и характер определяются расчётом, а технология зависит от способов изготовления плит. Для агрегатного и конвейерного способа производства плит длиной до девяти метров используют электротермический способ натяжения арматуры, а на стендах – механический или электротермомеханический. Ненапрягаемая арматура при установке в формы оснащается пластмассовыми фиксаторами для обеспечения защитного слоя бетона над арматурой не менее 20 мм. При электротермическом натяжении отпуск преднапряжённой арматуры после набора бетоном передаточной прочности осуществляют симметричной обрезкой стержней с помощью дисковой пилы. Аналогичным образом поступают при электротермомеханическом способе натяжения проволочной и прядевой арматуры. При натяжении механическим способом вначале выполняют плавный отпуск арматуры с помощью тех же домкратов, что использовались для ее натяжения, а затем обрезают выпуски арматуры дисковой пилой вровень с торцевой гранью плиты.

Режимы тепловой обработки для пустотных плит близки к стандартным. Хотя их большие открытые поверхности и склонны к свободным температурным деформациям, но созданный в процессе формирования прочный и жёсткий скелет бетонной смеси сдерживает трещинообразование на стадии подъёма температуры и прогрева изделия. Использование мягких режимов тепловой обработки с удлинёнными периодами подъёма и изотермического прогрева при максимальной температуре 60–70 °С обеспечит более высокое качество выпускаемой продукции, но энергозатраты на такую тепловую обработку существенно снизят эффективность производства в целом.

Организационно производство пустотных плит может осуществляться на агрегатных, конвейерных и стендовых линиях. Для первых двух линий используется сходный комплект оборудования, включающий бетоноукладчик, виброплощадку, вибропригруз и формовочную машину (рис. 3.1) с вибровкладышами (пустотообразователями) [1].

Пустотные плиты могут производиться в формах и на поддонах. Применение последних значительно снижает металлоёмкость форм, но требует от свежесформованного изделия большей прочности, связности и жёсткости, что достигается, как правило, более высоким расходом цемента. Кроме того, производство плит на поддонах предполагает дополнение комплекта оборудования специальным самоходным порталом (рис. 3.2). Портал оснащается двумя ярусами кронштейнов. Нижний ярус предназначен для захвата поддона, а с помощью верхнего бортоснастка устанавливается на поддон и снимается с него. На третьем ярусе портала размещается вибропригруз, который опускается на формируемое изделие. Благодаря своей многофункциональности самоходные порталы получили широкое распространение на линиях по производству пустотных плит [3]. Также широкое распространение получили формовочные машины, в состав которых кроме пустотообразователей входит бортоснастка с разными механизмами подачи [16].

Рассмотрим агрегатную линию по производству многпустотных плит перекрытий с полным комплектом оборудования, включая портал (рис. 3.3) [1]. Очищенный после предыдущего технологического цикла поддон смазывают на посту подготовки и краном переставляют на пост армирования.

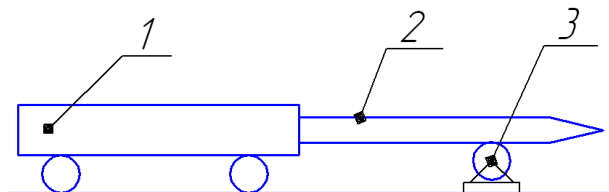


Рис. 3.1. Формовочная машина:

1 – каретка с приводами; 2 – пустотообразователь;
3 – опора пустотообразователей

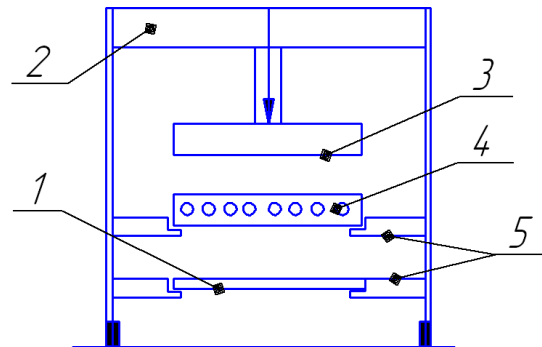


Рис. 3.2. Самоходный портал:

1 – поддон; 2 – привод; 3 – пригруз;
4 – бортоснастка; 5 – кронштейны

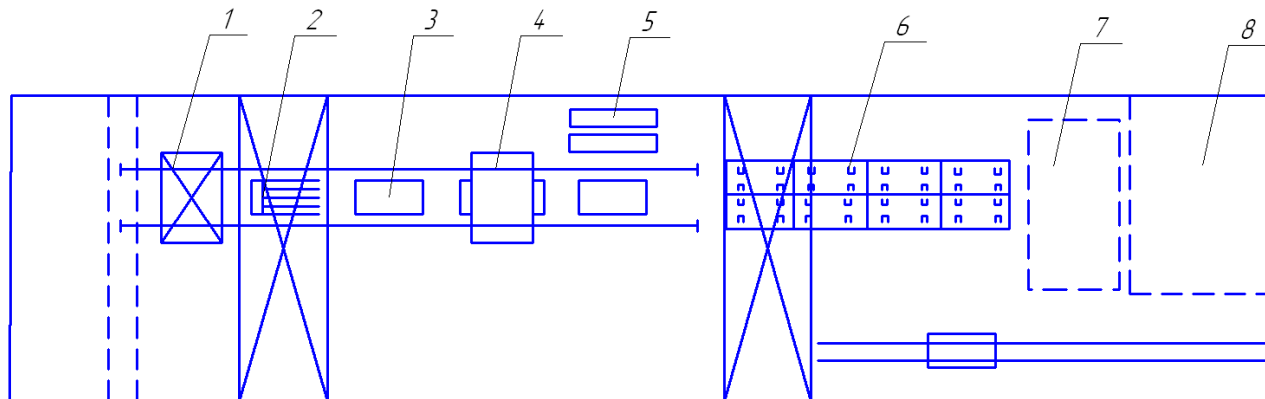


Рис. 3.3. Агрегатно-поточная линия по производству многопустотных плит перекрытий:

1 – бетоноукладчик; 2 – каретка с пустоообразователями; 3 – виброплощадка; 4 – самоходный портал с виброшитом и бортоснастой; 5 – пост электротермического натяжения арматуры; 6 – камеры ТВО; 7 – пост распалубки и подготовки поддонов; 8 – склад готовой продукции

Для электротермического натяжения рабочей арматуры заранее изготовленные в арматурном цехе стержни с временными анкерами разогревают на станке до расчётного удлинения при температуре $300\div 500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Разогретые стержни вручную или траверсой переносят на поддон и укладывают в вилочные упоры. При остывании стержни укорачиваются до размеров, ограниченных расстоянием между упорами, оставаясь в растянутом состоянии.

Далее устанавливается ненапрягаемая арматура в виде пространственного каркаса с приваренными закладными деталями и петлями, загнутыми вровень с поверхностью верхней сетки. Самоходный портал нижним ярусом кронштейнов захватывает поддон с арматурой и перемещает на виброплощадку, где на поддон с портала устанавливается бортоснастка. Портал отъезжает от формовочного поста, освобождая рельсовый путь для работы бетоноукладчика. Перед формованием с помощью формовочной машины через отверстия в торцевых гранях бортоснастки в форму вдвигаются пустотообразователи. Подача и распределение бетонной смеси бетоноукладчиком сопровождается вибрацией за счёт виброплощадки и вибраторов в пустотообразователях. После укладки всей бетонной смеси бетоноукладчик отправляется под загрузку, а на формуемое изделие с помощью самоходного портала устанавливается пригруз. Совместная работа оборудования формовочного поста обеспечивает качественное уплотнение особо жёстких бетонных смесей и формирует достаточную прочность свежееотформованного изделия для немедленной распалубки.

Разборку формовочного поста производят в следующем порядке. Вначале выдвигают пустотообразователи, затем поднимают порталом пригруз и бортоснастку. Портал отправляется за следующим поддоном, а отформованное изделие на поддоне захватывается автоматической траверсой и краном отправляется в ямную пропарочную камеру. Поскольку бортоснастка на поддонах отсутствует, то опирание на свежееотформованное изделие невозможно.

Оснащение камер пакетировщиками, которые представляют собой систему автоматически выдвигающихся кронштейнов, позволяет крановщику выполнять установку поддонов в камеру без участия стропальщика. Выгрузка изделий из камеры после тепловой обработки также выполняется только крановщиком.

На посту распалубки при обрезке преднапряжённых стержней арматуры происходит передача напряжений от упоров поддона к изделию и его обжатие, т.е. преднапряжение. Готовые изделия отправляются на пост контроля качества и склад готовой продукции, а поддон после чистки и смазки вновь подаётся краном на пост армирования.

Рассмотрим теперь линию по производству пустотных плит в формах по агрегатной схеме с элементами конвейеризации на (рис. 3.4) [4]. Линия подготовки форм выполнена в виде роликового конвейера (рольганга), что сокращает объём крановых операций. Вдоль рольганга перемещаются установки для обрезки стержней натянутой арматуры, а также чистки и смазки форм.

Натяжение арматуры на линии выполняется с помощью автоматизированных установок ДМ-2 или СМЖ-484 [4], которые позволяют без участия рабочего выполнять необходимые операции. Замер расстояния между упорами в форме, обрезка стержня нужной длины, изготовление временных анкеров на концах стержня, его разогрев и укладка в упоры формы – все эти операции выполняются в автоматическом режиме. Далее форма отправляется краном на пост формования, где выполняются операции в ранее описанной последовательности. Поскольку на линии отсутствует портал, то установку и съём пригруза выполняют краном. Оснащение ямных камер пакетиروщиками ускоряет процесс их загрузки и разгрузки, но при производстве пустотных плит в формах не является обязательным.

На рис. 3.5 представлен ещё один вариант полуконвейерной линии с роликовым конвейером на стадии подготовки поддонов [4]. Высокая производительность линии обеспечивается за счёт двух параллельно работающих формовочных постов. При этом скорость движения рольганга вдвое превышает скорость формования, что обеспечивает синхронизацию работ на стадии подготовки форм и формования изделий. Благодаря рольгангу на линии существенно сокращено количество крановых операций, сопряжённых с повышенным травматизмом.

Цикл формования на агрегатных и полуконвейерных линиях составляет около 20 мин, причём на транспортные операции приходится значительная часть времени.

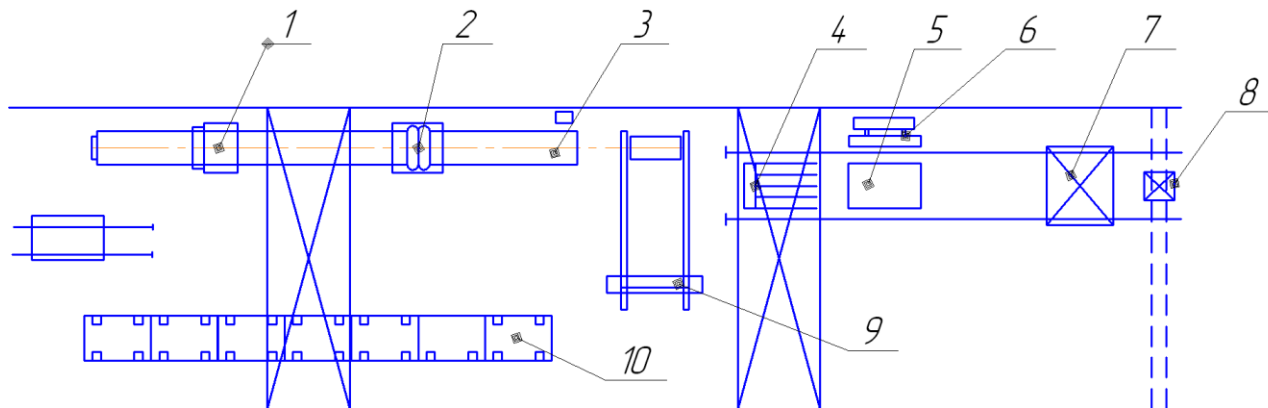


Рис. 3.4. Агрегатно-поточная линия по производству многопустотных плит с подготовкой форм на рольганге:

- 1 – установка для обрезки стержней; 2 – машина для чистки и смазки форм; 3 – конвейер подготовки форм (рольганг);
 4 – пустотообразователи; 5 – виброплощадка; 6 – вибропригруз; 7 – бетоноукладчик; 8 – накопительный бункер;
 9 – автоматизированная установка для натяжения стержневой арматуры ДМ-2 или СМЖ-484; 10 – камеры ТВО

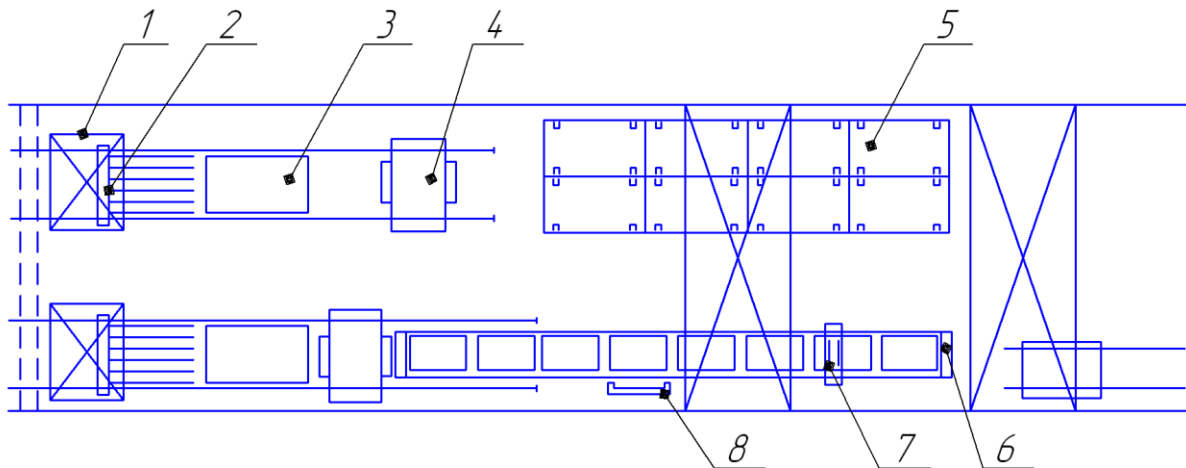


Рис. 3.5. Полуконвейерная линия по производству многопустотных плит перекрытия:

1 – бетоноукладчик; 2 – пустотообразователи; 3 – виброплощадка; 4 – портал; 5 – ямные камеры с пакетирующими;
 6 – роликовый конвейер для подготовки форм; 7 – устройство для чистки и смазки форм; 8 – установка для электронагрева стержней

Массовая востребованность многопустотных плит перекрытий способствовала развитию заводского производства и переходу к конвейерным линиям, на которых за счёт специализации постов и синхронного перемещения всех форм-вагонеток приводом конвейера удалось сократить цикл формования до 10–15 мин и повысить производительность. На заводах работают два вида конвейерных линий – узкие и широкие. На узких возможно изготовление изделий шириной до двух метров, а на широких – до четырех. Причём на обеих линиях возможно размещение в форме двух изделий по ширине [16].

На конвейерной линии (рис. 3.6) производство пустотных плит в формах обусловлено повышенными вибрациями при перемещении свежесформованных изделий по постам конвейера и возможностью их разрушений [6]. Особых решений требует компоновка формовочного поста, поскольку невозможно разместить всё оборудование и формы-вагонетки в одной плоскости. Решить эту проблему позволяет заглубление оборудования формовочного поста на $1,5 \div 2,0$ м. Для подачи формы-вагонетки на уровень формовочной машины виброплощадка оснащается подъёмными рельсами. Компоновку формовочного поста довершает боковое размещение пригруза, перемещение которого обеспечивается телескопическими тягами.

Поскольку на линии используется интенсивное уплотнение, то удаётся качественно прорабатывать особо жёсткие бетонные смеси с расходом цемента около 300 кг/м^3 – это один из лучших результатов для линий по производству пустотных плит. Для снижения металлоёмкости конвейерных линий используются поддоны-вагонетки, при этом бортоснастка является принадлежностью формовочной машины. Пропуск вагонеток по конвейеру осуществляется за счёт заглубления формовочной машины или подъёма над конвейером с вагонетками платформы с вибровкладышами и бортоснасткой. Формование на поддонах требует от бетонных смесей большей связности для предотвращения обрушения свежесформованных изделий при транспортировании по конвейеру, поэтому расход цемента увеличивают до $320\text{--}350 \text{ кг/м}^3$. Снизить себестоимость выпускаемой продукции удастся благодаря сокращению ритма движения конвейера до 10–12 мин и увеличению производительности линии.

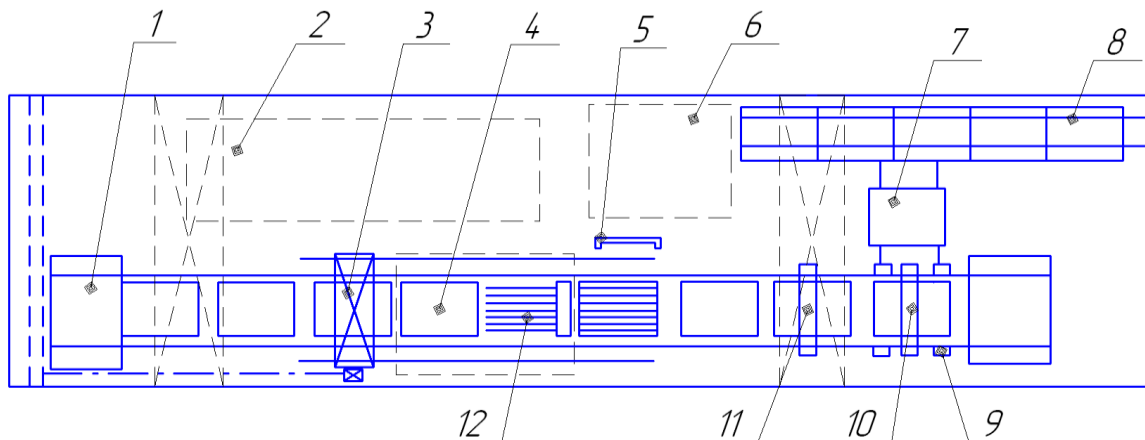


Рис. 3.6. Конвейерная линия по производству многопустотных плит перекрытия:

1 – подъемник-снижатель; 2 – складирование арматурных изделий; 3 – бетоноукладчик; 4 – виброплощадка; 5 – установка для нагрева и укладки стержней; 6 – переоснастка и ремонт форм; 7 – съемщик-перегрузатель; 8 – конвейер выдержки и вывозка изделий; 9 – устройство для закрывания и открывания бортов; 10 – машина для обрезки стержней; 11 – машина для чистки и смазки форм; 12 – каретка с пустотообразователями

Основными недостатками агрегатных и конвейерных линий при производстве пустотных плит являются высокие трудозатраты и металлоёмкость производства.

В 60-е годы XX века ряд иностранных фирм (Spiroll из Канады, Partex из Финляндии и т.д.) разработали технологию безопалубочного формования плит перекрытий и покрытий, которая получила широкое распространение по всему миру [14]. Производство организуется по стендовой схеме (рис. 3.7) в цехе или на полигоне в зависимости от климатических условий [1]. Стенды представляют собой дорожки длиной 60–120 м и шириной 1,2÷1,5 м со шлифованным бетонным или металлическим покрытием, под которым размещается система обогрева. Вдоль дорожек по рельсовому пути передвигается оборудование, перемещаемое от стенда к стенду краном. Комплект необходимого оборудования включает: моющую машину, машину для раскладки проволоочной или прядевой арматуры, натяжную станцию, формовочную и резательную машины.

Ведущей машиной является экструдер (рис. 3.8). Его рама [1] оборудована четырьмя колесами с ребордами, которые перемещаются по рельсам, уложенным вдоль стенда. Сверху на раме установлены: электрооборудование, электродвигатель с редуктором для вращения пустотообразователей, бункер для бетонной смеси, виброплита и стабилизирующая плита с уравнивающим грузом. Внутри рамы расположены пустотообразователи и боковые скользящие борта. Консольно закреплённая часть пустотообразователей состоит из прессующего шнека конической формы. Шаг витков шнека постоянный, но последние витки подрезаны до диаметра, равного диаметру отверстий в изделии. Внутри шнека установлен дебалансный вибратор, вращение которого осуществляется валом от электродвигателя. Направление вращения шнеков одинаковое. Однако каждые два соседних шнека имеют правое и левое направление винтовой линии. Стабилизирующая часть пустотообразователя соединяется со шнеком при помощи резиновых втулок. Таким образом, в зоне стабилизирующей плиты и задней части пустотообразователя вибрация очень незначительная. Вращение пустотообразователей осуществляется от электродвигателя через редуктор. На виброплите установлены два высокочастотных вибратора с круговыми колебаниями.

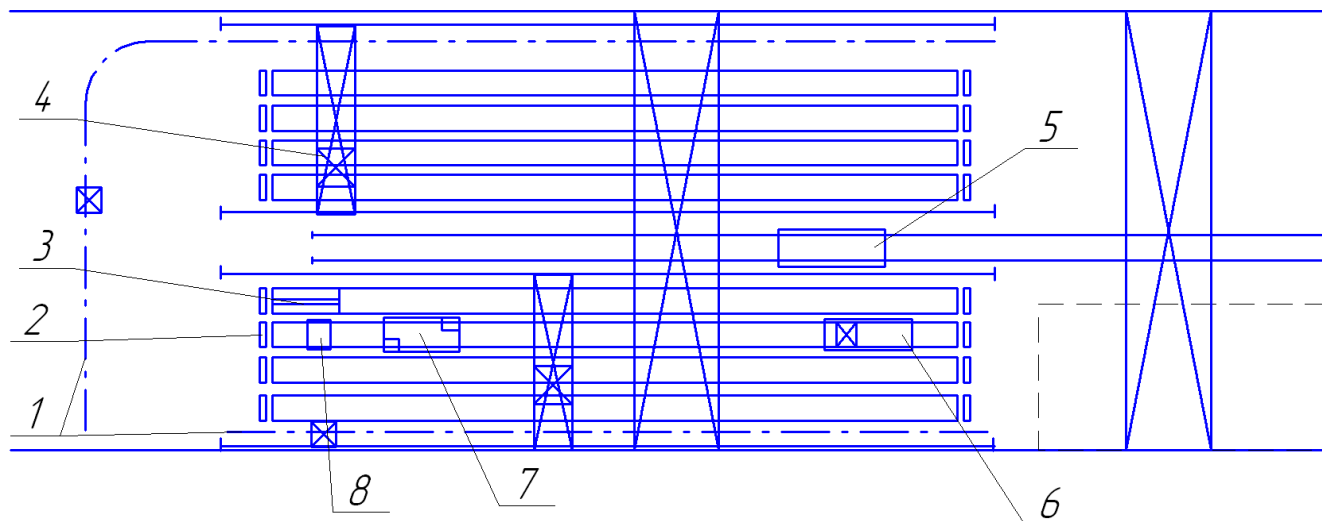


Рис. 3.7 . Стендовая линия по производству многопустотных плит перекрытий фирмы Partexs:

- 1 – тракт адресной подачи бетонной смеси с самоходным кубелем; 2 – упоры стенда; 3 – установка для распиловки плиты;
 4 – бетоновозные эстакады с бункерами; 5 – тележка для вывоза готовой продукции; 6 – экструдер;
 7 – установка для натяжения арматуры; 8 – установка для смазки поддона

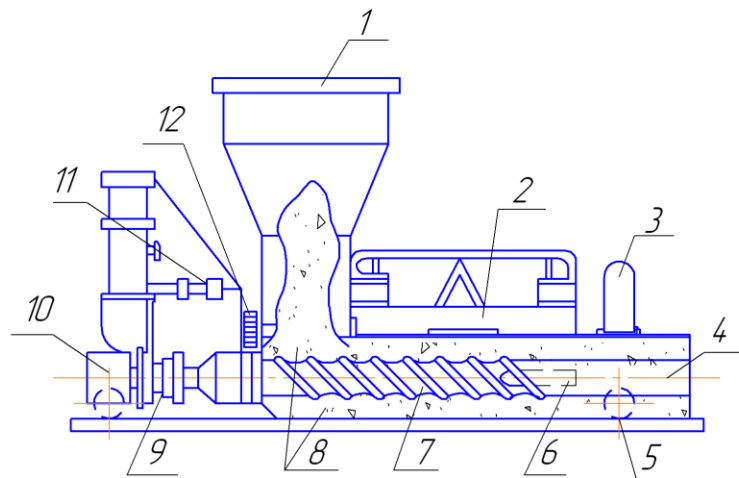


Рис. 3.8. Экструдер:

1 – бункер с бетонной смесью; 2 – пригрузочная плита с вибратором; 3 – стабилизатор; 4 – стабилизирующий наконечник;
 5 – опорные колеса; 6 – вибратор в пустотообразователе; 7 – шнек; 8 – верхние и нижние слои бетона; 9 – привод вибратора;
 10 – рама экструдера; 11 – привод шнека; 12 – магазин арматуры (поперечные стержни)

Между приводом вращения шнеков и бункером бетонной смеси может быть оборудовано устройство для подачи и вставки поперечной арматуры [14].

Экструдер устанавливается на рельсы стенда краном. Бетонная смесь жёсткостью Ж4 с В/Ц = $0,28 \div 0,32$ загружается в приёмный бункер. Под действием собственной массы она попадает на витки шнеков, которые продвигают её в формовочную камеру, образуемую шнеками, скользящими бортами, поддоном стенда и виброплитой. В этой камере под воздействием прессующего давления шнеков, а также вибрации шнеков и виброплиты смесь формируется и уплотняется. За счёт реактивной силы, возникающей при подаче бетонной смеси, экструдер движется в противоположную сторону, оставляя за собой отформованную бетонную полосу. Невибрируемые задние части пустотообразователей и верхняя плита заглаживают отформованные поверхности изделия. Прессующее давление на бетонную смесь определяется силами трения, возникающими между бетоном и подвижными формовочными органами экструдера (пустотообразователи, виброплита, стабилизирующая плита, скользящие борта), а также сопротивлением передвижению самой машины. Груз на заглаживающей верхней плите служит для уравнивания задней части экструдера от воздействия упругих сил бетонной смеси.

Современные модели экструдеров не имеют принципиального отличия от вышеописанной. Дополнительно экструдеры могут оснащаться сменными пресс-формами (выходными мундштуками), замена которых позволяет организовать на тех же стендах выпуск широкой номенклатуры железобетонных изделий, включая балки, ригели, перемычки, сваи, лотки, опоры линий электропередач и т.д. [25]. Технические параметры экструдеров зависят от фирм-изготовителей, но также различаются несущественно. Например, для формовочной машины «Тенсиланд» [25] скорость формования при непрерывной подаче бетонной смеси составляет $0,3 \div 2,5$ метров плиты в минуту (рис. 3.9). Аналогичную производительность заявляют и другие изготовители оборудования для безопалубочного формования железобетонных изделий.



Рис. 3.9. Технологическая линия «Тенсиланд»:

1 – машина для чистки дорожек; 2 – машина для раскладки проволоки; 3 – формующая машина; 4 – машина для резки;
5 – пакетиروщик для сбора и вывоза готовой продукции

Формовочное производство работает в две, а чаще в три смены. После съёма готовых изделий на освободившуюся дорожку устанавливают краном моющую машину, которая в автоматическом режиме чистит ее и сушит. Затем с помощью машины для раскладки проволоки через весь стенд протягивают арматуру и фиксируют в упорах временными анкерами типа «высаженная головка», для изготовления которых используют заклёпочную машину. Натягивают арматуру гидродомкратами и насосной станцией. Далее формовочная установка, при непрерывной подаче бетонной смеси по бетоновозной эстакаде, формует плиту на всю длину стендовой дорожки. После завершения этого процесса свежетоформованную полосу укрывают брезентом или полиэтиленовой плёнкой и проводят тепловую обработку за счёт подогрева днища, возможна также подача пара в пустоты плит. Продолжительность тепловой обработки – 8–12 ч при температуре изотермического прогрева не выше 70 °С. Завершается она при достижении бетоном передаточной прочности, достаточной для отпуска натянутой арматуры. Далее после отпуска преднапряжённой арматуры с помощью резательной машины производят распиловку плиты на изделия нужной длины. Для их транспортирования на склад используют кран или пакетировщик. Поскольку монтажных петель на изделиях не предусмотрено, захват осуществляют самозахватной траверсой за их боковые пазы.

В целом линии с безопалубочным формованием пустотных плит демонстрируют наилучшие технико-экономические показатели: максимальный съём изделий с 1 м² площади цеха, минимальные трудозатраты, максимальную выработку на одного рабочего, низкую металлоёмкость производства, высокую производительность и низкую себестоимость продукции. Кроме того, продукция отличается стабильно высоким качеством при условии строгого технологического контроля, особенно на стадии приготовления бетонной смеси [24].

Рассмотрим линию с короткими стендами для изготовления крупноразмерных пустотных плит перекрытий длиной 18 м и шириной до трех метров (рис. 3.10) [6]. Особенность организации работ на линии заключается в использовании одного комплекта пустотообразователей на двух стендах по очереди.

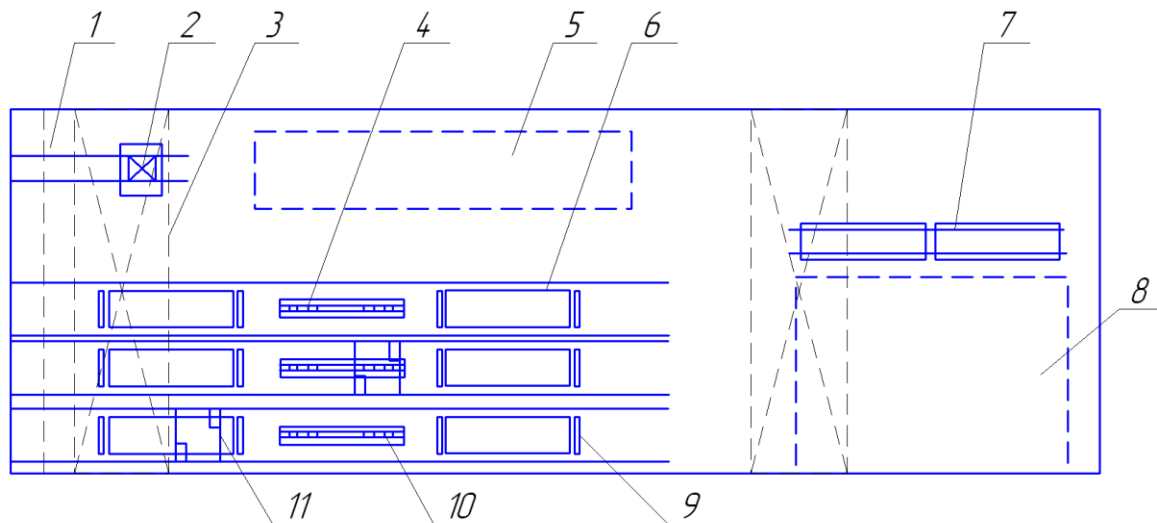


Рис. 3.10. Стеновый способ производства многопустотных плит перекрытий длиной 18 м:

- 1 – тракт подачи бетонной смеси краны; 2 – бадья для бетонной смеси; 3 – мостовой кран;
 4 – механизм подачи пустотообразователей; 5 – пост складирования арматурных каркасов; 6 – стенды (6 шт.);
 7 – тележка для вывода готовой продукции; 8 – складирование готовой продукции; 9 – упоры стенда; 10 – пустотообразователи;
 11 – установка для электромеханического натяжения арматуры

Когда на одном стенде проходит тепловая обработка конструкции за счёт подогрева поддона или подачи пара в пустотообразователи, на противоположном стенде выполняются операции по распалубке и подготовке стенда к следующему формованию. Около 10 ч тепловая обработка проходит с пустотообразователями, а затем с помощью специальной лебёдки их извлекают и после чистки и смазки устанавливают на противоположный стенд. В целом тепловая обработка продолжается около 20 ч, включая 4–6 ч плавного охлаждения. Это характерно для стендового производства, поскольку при тепловой обработке не удаётся обеспечить качественной теплоизоляции.

Столь длительная тепловая обработка конструкций позволяет использовать более подвижные бетонные смеси, нежели на других линиях по производству пустотных плит с немедленной распалубкой. Этого же требуют и менее интенсивные методы уплотнения бетонных смесей, применяемые на стендах. Использование глубинных или навесных вибраторов в данном случае может быть дополнено вибраторами в пустотообразователях, но и они вряд ли позволят качественно уплотнить бетонные смеси с удобоукладываемостью менее 2–4 см. Уникальность представленной линии заключается в специфике выпускаемой продукции, которую изготавливать другими способами вряд ли возможно.

3.2. Ребристые плиты перекрытий

Как уже отмечалось, пустотные плиты используют преимущественно в жилищном и гражданском строительстве в зданиях с бескаркасной конструктивной схемой. В каркасных зданиях промышленного и гражданского назначения для перекрытия пролётов применяют ребристые плиты, более простые в изготовлении и более дешёвые. При длине до 7 м их производство организуется по агрегатной или конвейерной схеме. Особыми на этом производстве будут только формы с выпуклым днищем для формирования вогнутой поверхности ребристой плиты. Преднапряжение арматурных стержней выполняют электротермическим способом, укладывая разогретые стержни в упоры формы. Формовочные посты традиционно оснащают бетоноукладчиками и виброплощадками, а тепловую обработку ведут в ямных

камерах на агрегатных линиях или в камерах непрерывного действия на конвейерах [22].

Для снижения трудозатрат на строительной площадке на ряде заводов освоен выпуск комплексных плит покрытий на базе ребристых плит, которые дополнительно оснащаются тепло- и гидроизоляцией (рис. 3.11).

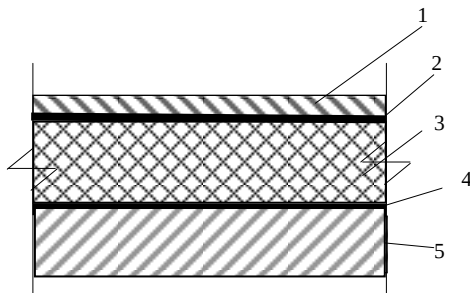


Рис. 3.11. Комплексная плита покрытия в разрезе:

- 1 – цементно-песчаная стяжка; 2 – гидроизоляция; 3 – теплоизоляция;
4 – пароизоляция; 5 – ребристая железобетонная плита

Каждый из слоёв комплексной плиты выполняет специфические функции в соответствии с требованиями, предъявляемыми к кровельным конструкциям. Слой пароизоляции служит для предотвращения увлажнения теплоизоляции конденсирующейся влагой в зоне перепада температур внутри и снаружи здания. Теплоизоляция защищает железобетонную плиту от промерзания и обеспечивает комфортную температуру внутри здания. Слой гидроизоляции предотвращает попадание влаги атмосферных осадков в утеплитель, сохраняя его теплозащитные свойства. Цементно-песчаная стяжка предназначена для защиты гидроизоляционного слоя от атмосферных воздействий. Поскольку большинство гидроизоляционных материалов изготавливают на основе битума, который под воздействием солнечной радиации и перепада температур быстро «стареет» и теряет сплошность, то в целях защиты битумной гидроизоляции и продления срока ее службы используют цементно-песчаную стяжку, которая имеет достаточную несущую способность, обеспечивающую возможность передвижения людей без повреждения тепло- и гидроизоляционных слоёв при монтаже

покрытия. Это позволяет отказаться от монтажа специальных подмостей при организации кровельных работ.

Агрегатная линия по производству комплексных плит покрытия (рис. 3.12) оснащена двумя роликовыми конвейерами-рольгангами [4]. На одном из них обеспечивается передвижение форм от поста распалубки, чистки, смазки и армирования до формовочного поста, оснащённого виброплощадкой. С этого поста форма с изделием краном переставляется на второй рольганг, где последовательно укладываются слои паро-, тепло- и гидроизоляции и цементно-песчаная стяжка. Тепловая обработка проводится в ямных пропарочных камерах, оборудованных пакетиروщиками, поскольку изолирующие слои плит размещаются поверх металлических форм и опирание конструкций, как обычно, друг на друга через прокладки невозможно. В качестве недостатка рассмотренной линии можно отметить неизбежное увлажнение утеплителя в процессе тепловой обработки, приводящее к ухудшению его теплоизолирующих характеристик. Оснащение изолирующими слоями ребристых плит, прошедших тепловую обработку, позволит устранить отмеченный недостаток, хотя и потребует дополнительного выдерживания комплексных плит для твердения цементно-песчаной стяжки.

Конвейерная линия по производству комплексных плит покрытия (рис. 3.13), отличается от агрегатной уникальным размещением форм на роликовом конвейере [4]. Разворот форм на 90° по сравнению с традиционной продольной ориентацией позволяет вдвое увеличить их количество на конвейере, а это, в свою очередь, сокращает требуемое количество ярусов в тепловом агрегате и обеспечивает возможность на формовочной ветви конвейера выделить зону для камеры подсушивания и остывания изделий. Пост формования, оснащенный виброплощадкой, делит роликовый конвейер на две части. В остальном технология изготовления комплексных плит покрытий не отличается от вышерассмотренной.

В целом применение современных изоляционных материалов при производстве комплексных плит покрытий повышает их эффективность, а на строительной площадке устройство кровли сводится к заделке стыков между плитами.

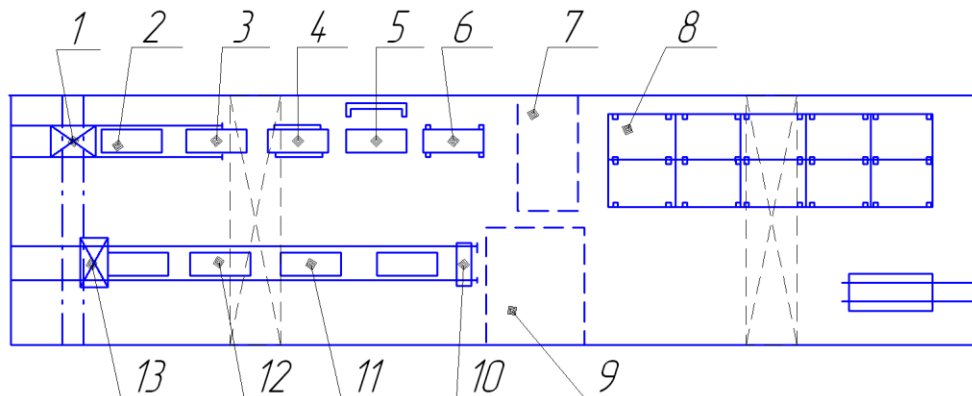


Рис. 3.12. Агрегатно-поточная линия по производству комплексных плит покрытия:

- 1 – бетоноукладчик и тракт подачи бетонной смеси; 2 – виброплощадка поста формирования; 3 – пост сборки формы;
 4 – пост укладки ненапрягаемой арматуры; 5 – пост чистки, смазки и электротермического натяжения арматуры;
 6 – пост распалубки изделий; 7 – складирование арматуры; 8 – камеры ТВО с пакетирующими; 9 – складирование утеплителя;
 10 – пост укладки пароизоляции; 11, 12 – посты укладки тепло- и гидроизоляции; 13 – пост укладки цементно-песчаной стяжки

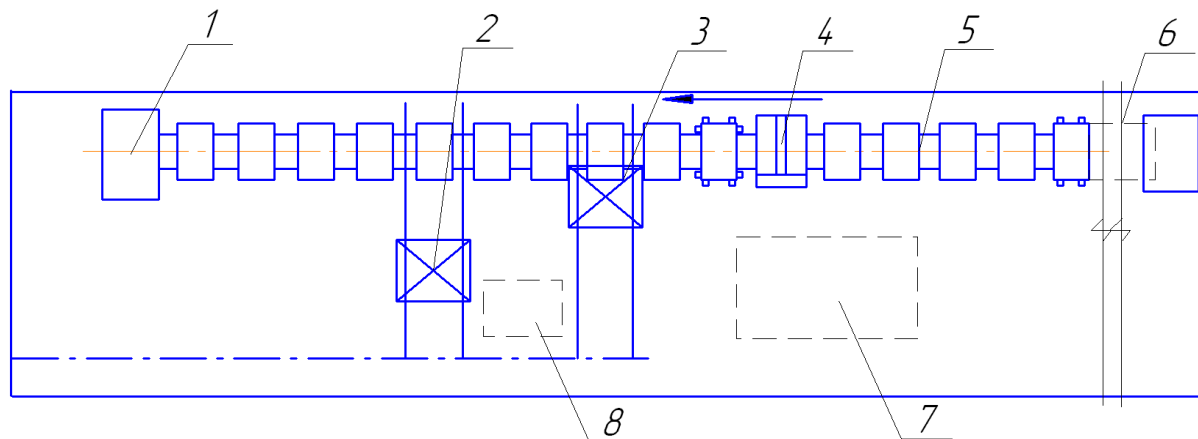


Рис. 3.13. Конвейерная линия по производству плит покрытий с поперечным расположением форм:

1 – снижатель и подъемник; 2 – раствороукладчик; 3 – бетоноукладчик; 4 – электротермическое натяжение стержней; 5 – роликовый конвейер; 6 – камера остывания; 7 – складирование арматуры; 8 – складирование паро-, гидро- и теплоизоляции

Далее рассмотрим проектное предложение кругового производства плитных конструкций для гражданского и жилищного строительства (рис. 3.14) [22]. Круговое производство размещено в здании с радиусом 35–40 м, в центре которого запланирован бетоносмесительный цех диаметром 8 м и высотой 25–30 м. На линии предполагается организовать выпуск плитных конструкций, включая ребристые плиты, плиты перекрытий сплошного сечения, внутренние стены и перегородки и т.д. Возможен выпуск конструкций длиной до 12 м и высотой до 3 м. На линии по кругу установлены стационарные тепловые отсеки в виде секторов в количестве 40÷60 штук (на рисунке условно показаны только три отсека), между которыми запрессовываются формы, состоящие из днища и торцевых стенок. Вокруг тепловых отсеков по рельсам перемещаются два поворотных сектора. На одном смонтировано оборудование, обеспечивающее выпрессовку формы с изделием, прошедшим тепловую обработку, а также чистку и смазку формы, её армирование, включая электротермическое натяжение арматуры для преднапряжённых конструкций. Второй сектор оснащён самоходным бункером для укладки бетонной смеси и штангой с глубинными вибраторами. При последовательном перемещении по кругу с поворотных секторов производится обслуживание всех отсеков, а тепловая обработка длится до тех пор, пока поворотные сектора не сделают полный оборот. Проектная производительность линии составляет 150 тыс. м³/год. Достаточно широкая номенклатура выпускаемой продукции и традиционная компактность круговых производств делают данное проектное предложение весьма перспективным.

Завершая рассмотрение технологических линий по производству железобетонных плит перекрытий, необходимо отметить безусловное преимущество на сегодняшний день технологии безопасного формования на длинных стендах, что подтверждается повсеместным строительством именно таких производств [24, 25].

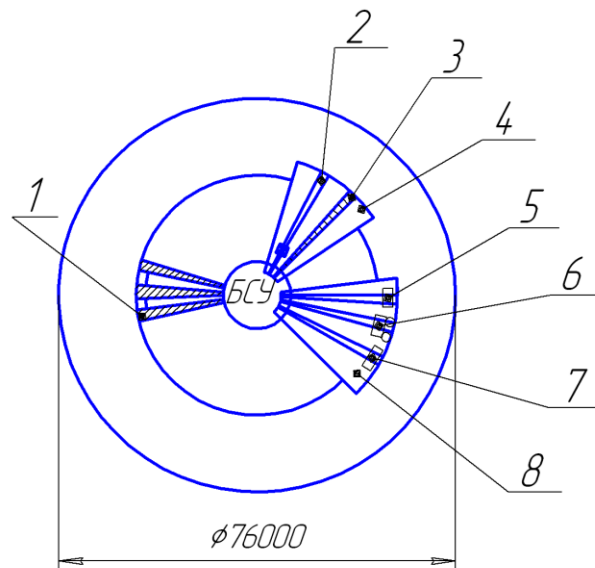


Рис. 3.14. Круговое производство плитных конструкций для гражданского и жилищного строительства

- 1 – вертикальные теплоаккумулирующие стенки-поддоны стационарные; 2 – бетоноукладчик; 3 – виброштанга;
 4 – формовочный поворотный сектор; 5 – механизированная установка для натяжения арматуры;
 6 – машина для чистки и смазки форм; 7 – механизм распалубки; 8 – поворотный сектор подготовки форм

Контрольные вопросы

1. Обоснуйте актуальность изготовления плит перекрытий из железобетона.
2. Чем вызвана необходимость устройства пустот в плитах перекрытий?
3. Перечислите технологические приемы, позволяющие эффективно уплотнять жесткие бетонные смеси при производстве пустотных плит перекрытий.
4. Каково назначение формовочной машины, виброплощадки и пригруза при производстве пустотных плит перекрытий?
5. Обоснуйте последовательность разборки оборудования формовочного поста после завершения формования пустотных плит перекрытий.
6. Чем обусловлена постепенная замена конвейерных линий на стендовые с безопалубочным формованием пустотных плит перекрытий?
7. Каково назначение ребристых плит перекрытий?

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЁМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Необходимость увеличения темпов жилищного строительства предопределяет разработку и внедрение технологических линий по производству объёмных элементов, перенос производства и комплектации которых в заводские условия позволяет на 15–20 % снизить общую трудоемкость работ при существенном улучшении качества [3].

На заводах сборного железобетона функционируют линии по изготовлению малых объёмных элементов (санитарно-технические кабины, вентиляционные блоки, тубинги лифтовых шахт, мусоросборные камеры и т.д.) и крупноразмерных объёмных блоков (блок-кухни, блок-комнаты, лестничные блоки и т.д.). Объёмный элемент чаще всего представляет собой пятистенный монолитный блок, что позволяет осуществлять распалубку готового изделия; тип этого элемента зависит от вида отдельно изготавливаемой плиты. Для объёмного элемента типа «колпак» предусматривается отдельное изготовление плиты пола, для элемента типа «стакан» – потолочной плиты, а для блока типа «лежащий стакан» – наружной стеновой панели [1].

Среди объёмных элементов наибольший удельный вес имеют санитарно-технические кабины, которые применяют в полносборных домах, а также в кирпичных и монолитных жилых зданиях [24].

Сантехкабина представляет собой объёмный тонкостенный (толщина стены 50–80 мм) блок с пространственным арматурным каркасом, который воспринимает распалубочные, транспортные и монтажные нагрузки. Блоки изготавливают из мелкозернистого бетона классов В10-В15. Разные серии полносборных домов предусматривают в сантехкабине совмещённое или раздельное расположение ванной и туалета, а также размещение встроенного или отдельно стоящего вентиляционного блока. Более широкое распространение получили блоки типа «колпак», изготовление которых позволяет снизить трудозатраты на установку сантехнического оборудования и заделку стыка между объёмным блоком и плитой пола, которую в процессе формования можно отделять специальной плиткой [3].

Производство сантехкабин чаще всего организуют по стендовой схеме в стационарных кассетных формовочных установках:

в технологическом пролёте их может размещаться 20–25 штук, если сборка и отделка готовых блоков будет выполняться в другом пролёте. Установка включает четыре шарнирно соединённых с основанием металлических щита с угловыми замками и навесными вибраторами, а также внутренний металлический сердечник со встроенным вибратором и системой ускоренного прогрева изделий. После чистки и смазки в установку подают арматурный каркас, фиксируют каналообразователи и собирают форму. Бетонную смесь с подвижностью 14–16 см укладывают из бадьи и уплотняют навесными вибраторами. Проблема повышенного расхода цемента, характерная для кассетного производства, в данном случае усугубляется необходимостью использования мелкозернистого бетона из-за тонкостенности конструкции объемного элемента. Поэтому расход цемента возрастает до 420–450 кг/м³ [2]. Технологические приёмы, позволяющие сократить расход цемента в кассетных установках, рассмотренные в разделе 2, применимы в производстве объёмных элементов. Форсированный контактный прогрев изделий при температуре 90–95 °С позволяет за 5–6 ч получить распалубочную прочность бетона. Для уменьшения количества повреждений и снижения распалубочных усилий сердечник кассетной установки выполняют с технологическими уклонами: в среднем 15–20 мм на высоту сердечника. После распалубки блоки отправляют на сборку, комплектацию и отделку на специализированные посты или конвейерные линии.

Таким образом, применяемые технологические приёмы позволяют выполнять один полный оборот кассетной установки в смену, обеспечивая достаточно высокую производительность. Наиболее существенным недостатком данной технологии изготовления объёмных элементов является высокий расход цемента на 1 м³ низкомарочного бетона, поэтому большинство конструкторских и технологических предложений направлено на решение этой проблемы. Разработаны и эксплуатируются на ряде заводов стационарные кассетные установки для изготовления сантехкабин, дополнительно оснащённые разными типами виброплощадок и механизмами выпрессовки сердечников. Виброплощадки с вертикально направленными колебаниями позволяют качественно уплотнять бетонные смеси с осадкой конуса 8–10 см, а виброударные эффективны для бетонных смесей с ОК = 4–6 см, что в целом обеспечивает экономию цемента 100–150 кг/м³ [8].

Для оптимизации технологических потоков и рационального использования производственных площадей разработана технологическая линия по производству сантехкабин и лифтовых шахт с круговыми конвейерами (рис. 4.1) [2]. Полный цикл производства объёмного элемента осуществляется за один оборот кругового конвейера в течение 12 ч. После завершения тепловой обработки, выполняемой на шести постах конвейера, на следующем посту выпрессовывают готовое изделие, чистят и смазывают форму, устанавливают арматурный каркас и собирают форму. На последнем посту, оснащённом подъёмной виброплощадкой, укладывают и уплотняют бетонную смесь с ОК = 6–8 см. Одновременно в сердечник начинают подавать пар для ускоренного прогрева объёмного блока. За счёт компактности круговых конвейеров в УТП-1 можно разместить две карусельные установки и участок для отделки объёмных элементов.

На технологической линии (рис. 4.2, *а*) круговой конвейер предназначен для второй стадии тепловой обработки. Такая конструкция теплового агрегата непрерывного действия позволяет снизить теплотери благодаря совмещению поста загрузки и выгрузки камеры. Кроме того, двухстадийная тепловая обработка способствует увеличению оборачиваемости формовочных установок и росту производительности линии в целом. Каждый из шести формовочных постов (рис. 4.2, *б*) оснащён виброударной площадкой, наружными щитами с гидросистемами перемещений и переставным вакуум-щитом для вакуумирования потолочной плиты блока.

Связь между технологическими постами обеспечивается передаточной тележкой со штанговым захватом. После чистки, смазки и армирования вагонетка с сердечником подаётся передаточной тележкой на один из формовочных постов. Передний наружный щит формовочной установки состоит из двух половин, которые за счёт поворота на 90° обеспечивают свободное перемещение вагонетки с сердечником. После фиксации вагонетки на виброплощадке наружные щиты формовочной установки закрывают и начинают бетонирование. Для бетонирования блока используют бетонную смесь с ОК = 2–4 см, а для снижения водосодержания бетона, укладываемого на потолочную плиту, дополнительно на отформованный блок устанавливают вакуум-щит. Параллельно с формированием в сердечник и наружные щиты подают теплоноситель для прогрева бетона, который через 2–3 ч достигает распалубочной прочности.

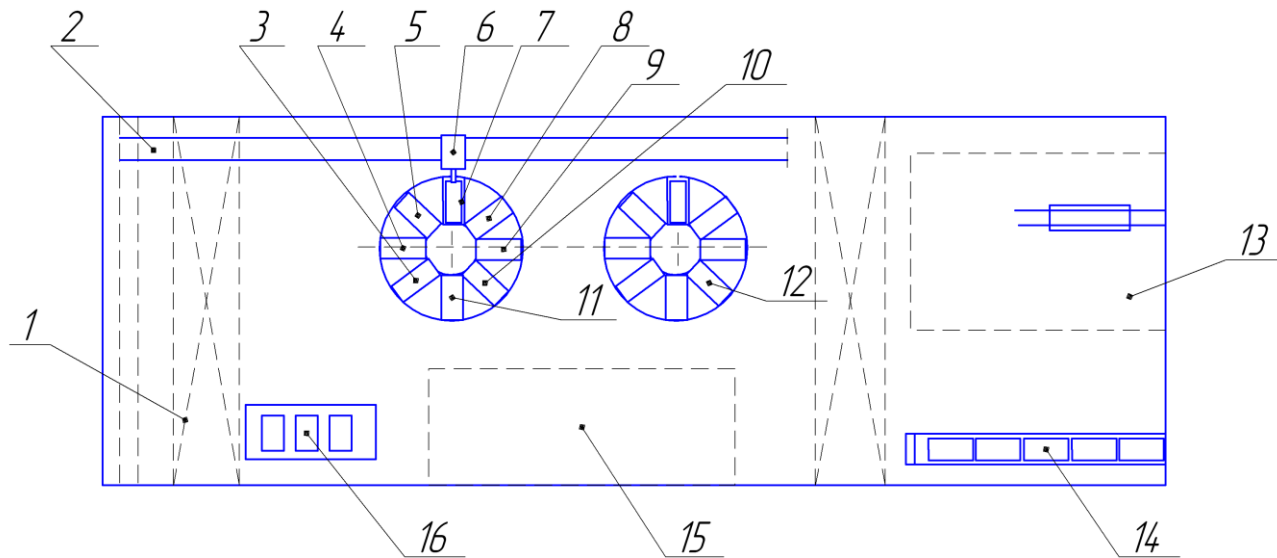


Рис. 4.1. Схема производства сантехкабин и шахт лифтов на карусельных установках:

1 – мостовой кран; 2 – тракт подачи бетонной смеси; 3,4,8,9,10,11 – посты ТВО; 5 – пост выпрессовки готового изделия и подготовки форм; 6 – бетонораздатчик; 7 – пост формования с подъёмной виброплощадкой; 12 – карусельная установка; 13 – склад готовой продукции; 14 – конвейер отделки; 15 – склад арматуры; 16 – кондукторы для изготовления сеток и пространственных каркасов

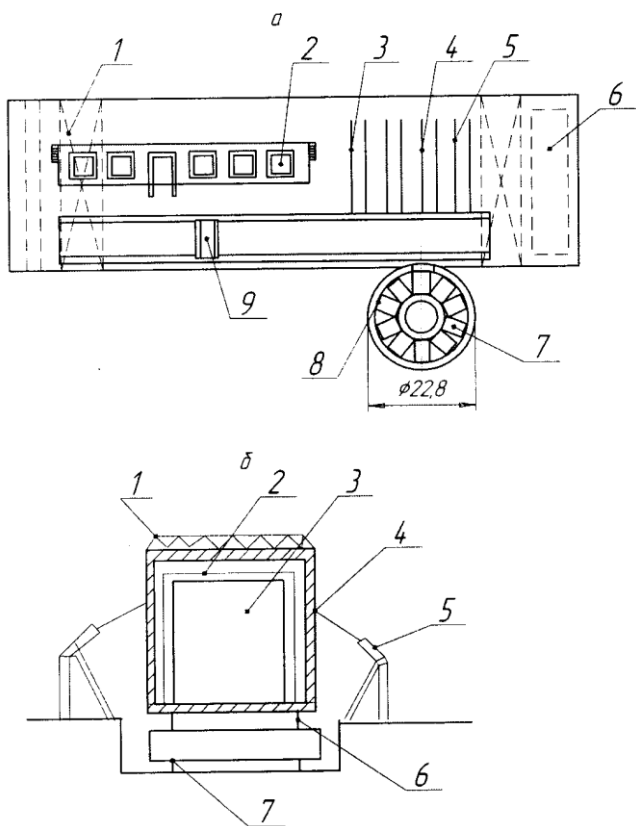


Рис. 4.2. Схема производства малых объёмных блоков
(проект ЦНИИЭП жилища):

- a* – план линии: 1 – мостовой кран; 2 – стендовая формовочная установка;
3 – пост подготовки сердечников; 4 – пост распалубки; 5 – пост переналадки
форм; 6 – участок сборки блоков; 7 – сердечник с пропариваемым изделием;
8 – камера тепловой обработки; 9 – передаточная тележка;
- б* – схема формовочного поста: 1 – вакуумный щит; 2 – объёмный блок;
3 – сердечник; 4 – продольный щит; 5 – гидроцилиндры продольных щитов;
6 – рельс; 7 – ударно-вибрационная площадка

Наружные щиты формовочной установки раскрывают, и вагонетка с объёмным блоком перевозится передаточной тележкой в кольцевую камеру на вторую стадию тепловой обработки. За 8 ч вагонетка совершает в камере полный оборот и передаточной тележкой переставляется на пост выпрессовки сердечника, откуда готовый блок подаётся на посты сборки, комплектации и отделки. С поста выпрессовки сердечника вагонетка передаётся на пост подготовки, а затем вновь на пост формования.

Несмотря на повышенную металлоемкость, для линии характерна высокая производительность и пониженный расход цемента, что обеспечивает быструю окупаемость первоначальных капитальных вложений [3].

Отработка технологии производства крупноразмерных объёмных элементов проводилась на ряде экспериментальных заводов объёмноблочного домостроения (ОБД), которые дали названия принятым на них технологиям.

Впервые производство монолитных крупноразмерных блоков было организовано в 1969 году на Минском заводе ОБД (рис. 4.3, *а*) [3]. Изготовление элементов типа «колпак» осуществляется в стационарной кассетной установке с переставным сердечником. После подготовки сердечник на передаточной тележке устанавливается на пост формования (рис. 4.3, *б*). Четыре наружных щита кассетной установки собирают и фиксируют клиновыми зажимами.

Подвижную бетонную смесь с ОК = 18–20 см укладывают в кассетную установку и уплотняют навесными вибраторами наружных щитов. По завершении формования на блок устанавливают термоизоляционный щит и включают теплоэлектронагреватели, размещённые внутри сердечника. До набора распалубочной прочности в течение 4–6 ч форма с изделием находится на формовочном посту, затем открывают наружные щиты и блок на сердечнике передают на пост дозревания.

С поста выпрессовки сердечника готовый блок отправляют на комплектацию и отделку, а сердечник чистят, смазывают, армируют и вновь подают на пост формования.

В дальнейшем на заводах ОБД отработывалась возможность применения менее подвижных бетонных смесей с пониженным расходом цемента. Этого удалось достичь, используя принцип формования с подвижными щитами, впервые применённый для изготовления внутренних стен и перегородок (рис. 2.4).

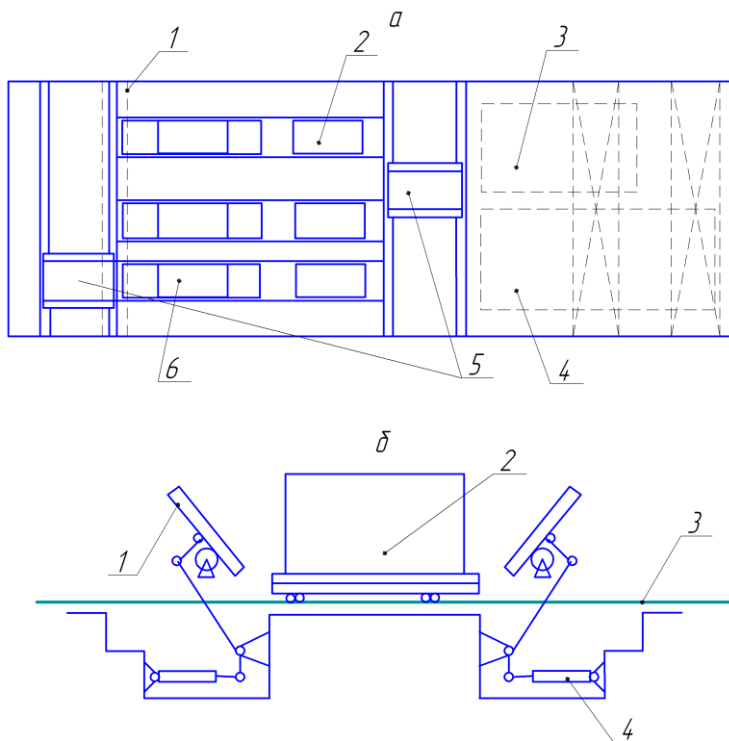


Рис. 4.3. Схема производства объёмных элементов на Минском заводе ОБД:

- а* – план линии: 1 – тракт подачи бетонной смеси; 2 – пост выдержки изделий; 3 – пост складирования арматурных каркасов; 4 – зона сборки и отделки блоков; 5 – передаточные тележки; 6 – формовочные кассетные установки;
- б* – пост формования с установкой ТАГ-4: 1 – наружные щиты с навесными вибраторами; 2 – тележка с сердечником; 3 – рельсовый путь; 4 – гидросистема наружных щитов

Метод формования объёмных элементов типа «колпак» с подвижным сердечником отрабатывался на заводах ОБД в Новолукомле и Вологде [3]. Технологическая линия Новолукомльского завода (рис. 4.4, *а*) оснащена стационарными формовочными постами с установками ФК-5. Сердечник на транспортной вагонетке после чистки, смазки и армирования подается передаточной тележкой на один из формовочных постов в соответствии с типоразмером и фиксируется на подъёмной платформе установки ФК-5 (рис. 4.4, *б*).

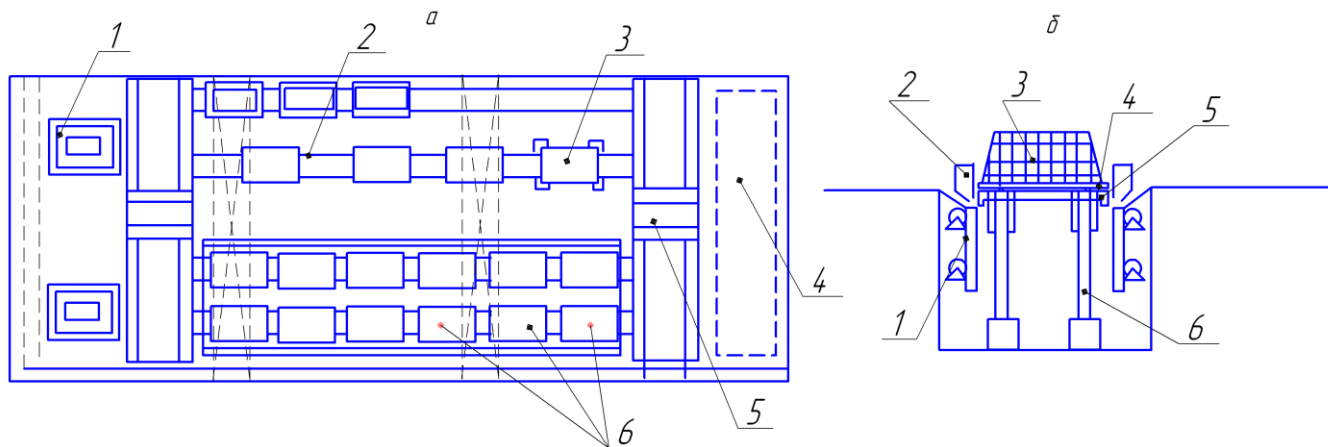


Рис. 4.4. Схема производства объёмных блоков типа «колпак» на Новолукомльском заводе ОБД:

- a* – план линии: 1 – формовочная установка ФК-5; 2 – конвейер подготовки форм; 3 – пост распалубки (выпрессовка сердечника);
 4 – сборка пространственных арматурных каркасов; 5 – передаточная тележка; 6 – туннельная камера;
- б* – формовочная установка ФК-5: 1 – наружные щиты; 2 – вибробункера; 3 – сердечник; 4 – тележка;
 5 – подвижная платформа; 6 – гидроподъёмник

Кроме платформы с гидросистемой перемещения, формовочная установка включает четыре неподвижных жёстко соединённых щита с навесными вибраторами и расположенные по периметру вибробункера. До начала формования в бункера подают бадьей малоподвижную бетонную смесь с ОК = 3–5 см, которая за счёт работы вибраторов разжижается. Укладка и уплотнение бетонной смеси совмещаются с опусканием платформы установки и сердечника, закреплённого на ней. Бетонную смесь на потолочную плиту укладывают бадьей и уплотняют виброрейкой. Параллельно с формованием в сердечник подают пар, что позволяет прогреть сердечник до температуры 50–60 °С уже к концу формования, т.е. через 15–20 мин. В целом первая стадия ТВО на формовочном посту продолжается 3,0–3,5 ч, затем подвижная платформа поднимается вверх, выдвигая сердечник с изделием из формовочной установки. Через передаточную тележку транспортная вагонетка подаёт объёмный блок в туннельную камеру – на вторую стадию тепловластной обработки (ТВО). Из-за больших теплопотерь и низкой эффективности тепловой обработки в туннельных камерах вторая стадия превышает 8 ч. Из туннельной камеры изделия через передаточную тележку подаются на конвейер подготовки, на первом посту которого выпрессовывают объёмный элемент, а далее производят чистку, смазку и армирование сердечников. Объёмный блок краном устанавливают на пост комплектации, где он дооснащается плитой пола и трёхслойной наружной стеновой панелью, изготовление которых организовано на специализированных технологических линиях. Степень дальнейшей отделки объёмного блока зависит от требований заказчика.

Основные недостатки рассмотренной технологии связаны с низкой производительностью из-за продолжительного выдерживания изделий на посту формования и с возможностью производства блоков всего двух типоразмеров. Однако при отработке технологии производства объёмных элементов на Вологодском заводе ОБД отмеченные недостатки были устранены (рис. 4.5, а) [3].

В технологическом пролёте размещены три транспортных линии, соединяемые в единое кольцо передаточными тележками. Две линии предназначены для тепловой обработки изделий, а на третьей готовят формы и формируют блоки. Формы-вагонетки семи типоразмеров оснащены откидными бортами с угловыми замками; днище выполнено в виде решётки из металлопроката.

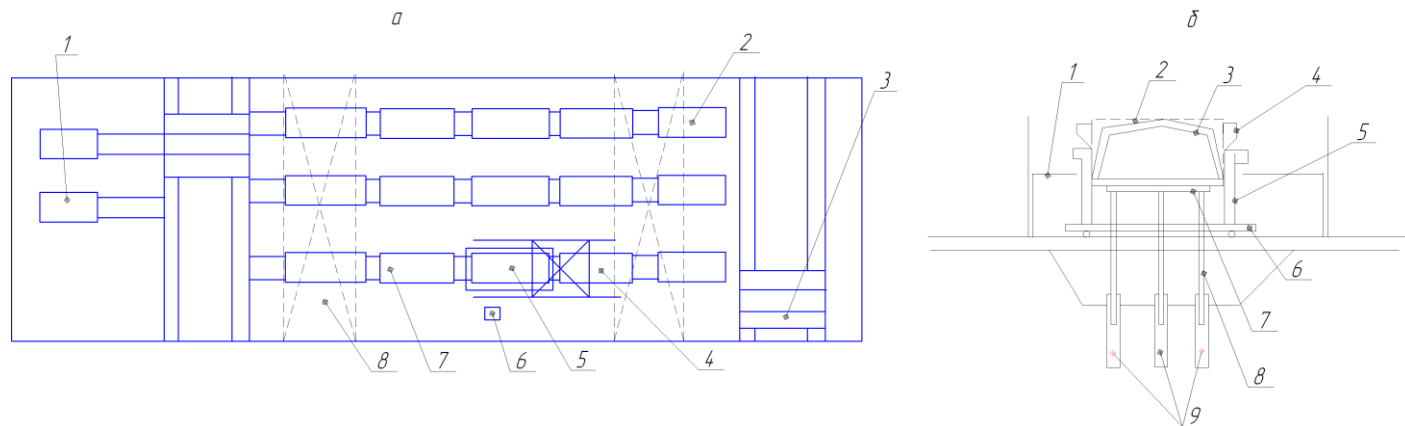


Рис. 4.5. Схема производства объёмных блоков типа «колпак» на Вологодском заводе ОБД:

- a* – план линии: 1 – пост выпрессовки сердечника; 2 – конвейер ТВО; 3 – передаточная тележка; 4 – пост формирования потолочной плиты; 5 – формовочный пост стен блока; 6 – пульт гидроподъёмника; 7 – конвейер подготовки форм; 8 – кран;
- б* – разрез поста формирования с установкой УФБЦ-1: 1 – площадка обслуживания; 2 – арматурный каркас; 3 – сердечник; 4 – формующий бункер; 5 – наружные щиты; 6 – тележка; 7 – подвижная платформа; 8 – направляющие; 9 – гидроподъёмник

После ТВО вагонетку с изделием передают на первый пост линии подготовки, где форму распалубливают и блок с сердечником краном переставляют на пост выпрессовки сердечника. Форму чистят, смазывают и укомплектовывают сердечником с арматурным каркасом и вкладышами. Формовочный пост оснащен установкой УФБЦ-1 (рис. 4.5, б), которая не имеет элементов опалубки, поэтому позволяет формировать объёмные блоки разных типов-размеров. После размещения вагонетки на посту формирования гидросистема формовочной установки через решетчатое днище вагонетки поднимает сердечник в крайнее верхнее положение. Дальнейшее формирование блока аналогично рассмотренному ранее для Новолукомльского завода ОБД. После формирования боковых поверхностей блока, что занимает около 40 мин, вагонетка передвигается на следующий пост, где на потолочную плиту укладывают жёсткую бетонную смесь ($J_1 = 5-10$ с) и уплотняют с помощью вибропригруза. Далее через передаточную тележку вагонетку с отформованным изделием подают на одну из линий тепловой обработки. На вагонетку устанавливают теплоизолирующий щит, а внутрь сердечника подают пар, что обеспечивает за 7–8 ч набор бетоном требуемой прочности. По завершении тепловой обработки вагонетку вновь переставляют на линию подготовки и формирования.

Таким образом, несмотря на высокую металлоёмкость, рассмотренная технологическая линия характеризуется максимальной производительностью и минимальным расходом цемента в отличие от существующих заводов объёмного домостроения.

На Кременчугском и Хабаровском заводах ОБД реализована технология изготовления объёмных элементов методом вибровacuумирования (рис. 4.6). Этот метод позволяет использовать на стадии укладки и распределения высокоподвижные бетонные смеси, водосодержание которых снижается в процессе вибровacuумирования, обеспечивая получение требуемой распалубочной прочности бетона в короткие сроки при умеренных расходах цемента [1].

Изготовление объёмных элементов организовано по конвейерной схеме с перемещением форм-вагонеток по технологическим постам. На линии подготовки форму с сердечником чистят, смазывают и армируют пространственным каркасом. На Кременчугском заводе заранее изготовленную наружную стеновую панель закрепляют на форме на линии подготовки.

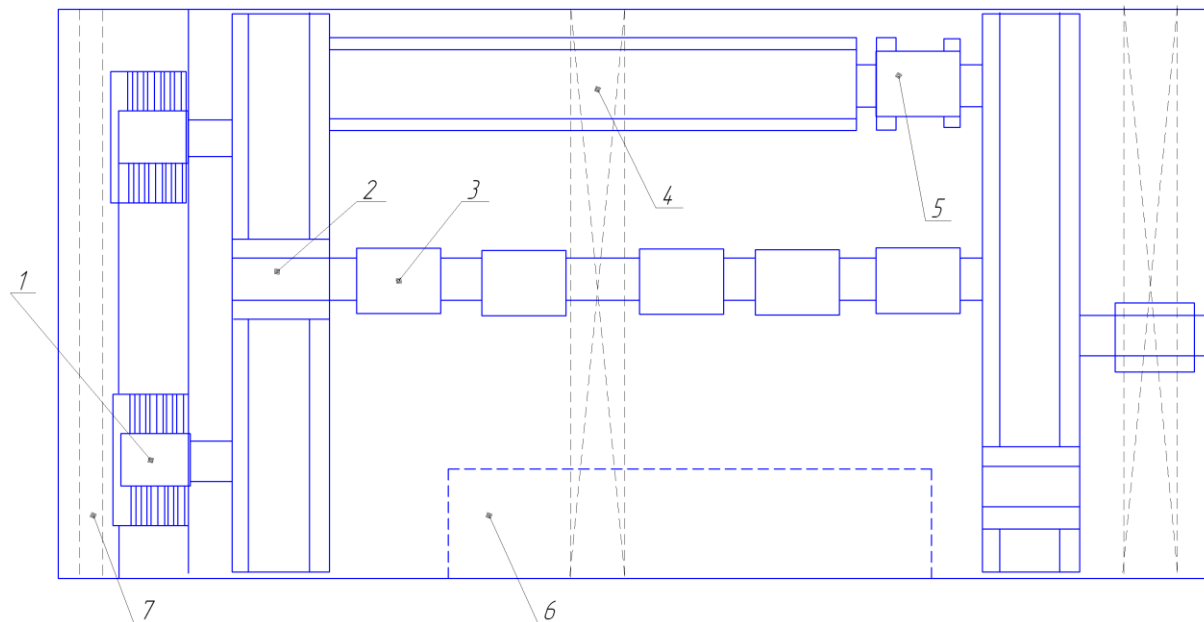


Рис. 4.6. Схема производства объёмных элементов типа «колпак» на заводах ОБД в городах Кременчуг и Хабаровск:

- 1 – формовочная машина МОБ-УВ-1 (Кременчуг) или К-360 (Хабаровск); 2 – передаточная тележка;
 3 – конвейер подготовки сердечников; 4 – камера ТВО; 5 – выпрессовка сердечника;
 6 – участок для складирования арматурных каркасов; 7 – тракт подачи бетонной смеси

Затем собранную форму с помощью передаточной тележки помещают в одну из формовочных установок. Каждая установка оснащена наружными подвижными щитами с гидросистемой перемещения и навесными вибраторами. С внутренней стороны к наружным щитам прикручены болтами съёмные вакуум-щиты, которые через систему трубопроводов соединяются с вакуум-насосом. После установки вагонетки на формовочный пост наружные щиты перемещают и фиксируют в рабочем положении и начинают бетонирование объёмного блока. Использование высокоподвижных и литых бетонных смесей позволяет быстро распределять большой объём бетона, однако при этом остаётся нерешённой проблема расслоения смеси. Вакуумирование бетонной смеси начинается после формования боковых граней блока и сопровождается периодическим вибрированием для уплотнения бетонной смеси и устранения образовавшейся при отсосе воды направленной пористости. При формовании потолочной плиты кроме виброрейки используют переставной вакуум-щит.

Суммарное водопонижение при вакуумировании составляет $80\text{--}100\text{ л/м}^3$, но даже одновременно прогревая и формую изделия, не удаётся получить распалубочную прочность бетона быстрее, чем через $2,0\text{--}2,5\text{ ч}$ [3]. С формовочного поста вагонетка с изделием подаётся в туннельную камеру на вторую стадию тепловой обработки. Затем производят выpressовку изделия с передачей на посты комплектации и отделки, а вагонетку с сердечником через передаточную тележку устанавливают на конвейер подготовки.

Кроме уже отмеченных недостатков, на линиях этого типа сохраняются проблемы с утилизацией воды из вакуум-системы и подготовкой вакуум-щитов к следующему формовочному циклу.

Единственный завод, освоивший производство объёмных элементов типа «лежащий стакан», – это Краснодарский завод ОБД. Отличительной особенностью блоков подобного типа является максимальная бетоноёмкость и необходимость комплектации только наружной стеновой панелью [1].

Производство организовано по кассетно-конвейерной схеме (рис. 4.7, а) с формованием в стационарных кассетных установках ФМ-5. На конвейере подготовки поддоны-вагонетки чистят, смазывают, оснащают сердечником с арматурным каркасом и передаточной тележкой подают в одну из формовочных установок (рис. 4.7, б). После фиксации формы наружные щиты установки переводят в рабочее положение и начинают бетонирование.

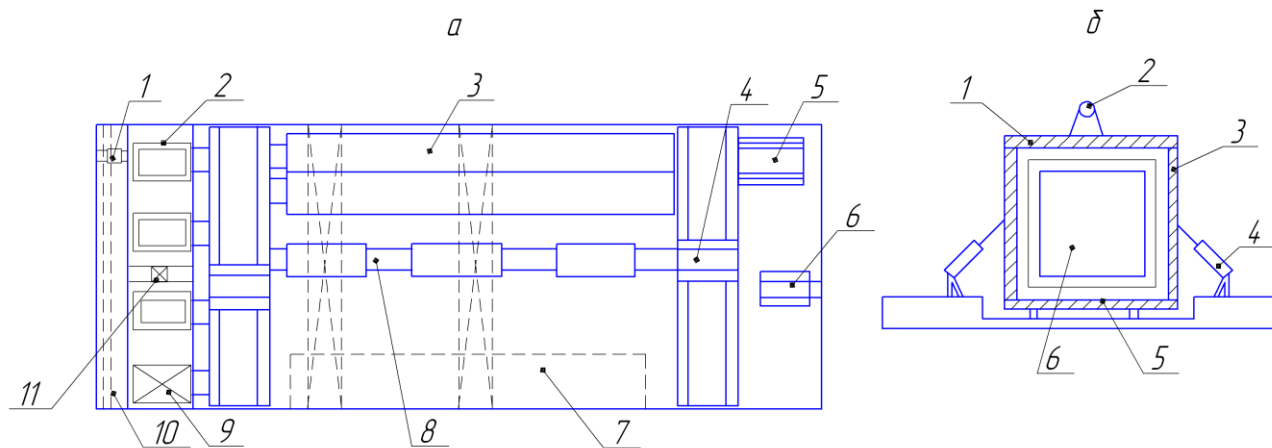


Рис. 4.7. Схема производства объёмных блоков типа «лежащий стакан» на Краснодарском заводе ОБД:

- a* – план линии: 1 – бетонораздатчик; 2 – формовочная установка ФМ-5; 3 – туннельные камеры; 4 – передаточные тележки; 5 – выпрессовочная машина; 6 – тележка для вывоза готовой продукции; 7 – пост складирования комплектующих деталей; 8 – конвейер подготовки форм; 9 – щит вибропригруза; 10 – линия подачи бетонной смеси; 11 – самоходный бункер;
- б* – пост формования с установкой ФМ-5: 1 – термошит потолка; 2 – вибраторы; 3 – продольный щит; 4 – гидроцилиндры продольных щитов; 5 – вагонетка с сердечником; 6 – сердечник

Для затекания бетонной смеси в плиту пола используют литые бетонные смеси с ОК = 20–22 см, что обуславливает повышенный расход цемента (более 550 кг/м³). Уплотнение бетонной смеси осуществляют с помощью навесных вибраторов, закреплённых на наружных щитах формовочной установки, и виброшита, помещаемого на отформованную потолочную плиту. Параллельно с формированием начинается первая стадия тепловой обработки за счёт вмонтированных в сердечник теплоэлектронагревателей. Если бетонирование блока занимает менее часа, то до набора расклубочной прочности форма должна находиться в установке 4–5 ч. После завершения первой стадии тепловой обработки щиты формовочной установки раскрывают и форму с изделием подают в туннельную камеру, где она находится ещё 8–10 ч. Из камеры через передаточную тележку она поступает на пост выпрессовки сердечника, который оснащён гидроцилиндрами с телескопическими тягами. Снижению трудоемкости этой операции способствуют технологические уклоны сердечника около – 20 мм на длину блока.

После выпрессовки объёмный блок отправляют на комплектацию и отделку, а поддон-вагонетку и сердечник передают на конвейер подготовки.

Основной недостаток рассмотренной технологической линии связан с высокой себестоимостью продукции из-за повышенного расхода цемента, поэтому внедрение технологических приёмов по снижению его расхода позволит повысить эффективность производства.

Основные параметры технологических линий по изготовлению объёмных элементов приведены в табл. 2.

Накопленный опыт проектирования и экспериментального производства малообъёмных и крупноразмерных блоков может быть востребован при реконструкции действующих и строительстве новых цехов и заводов.

Кроме рассмотренных выше массовых конструкций для жилищного и гражданского строительства, на заводах изготавливают доборные элементы: лестничные площадки и марши, фундаментные плиты, плиты лоджий и балконов, козырьки входа, цокольные и парапетные плиты и т.д. Учитывая широкую номенклатуру и малые объёмы производства, изготовление этих элементов на заводах сборного железобетона чаще всего организуют по агрегатной схеме (рис. 1.1).

Таблица 2

Технические параметры линий по изготовлению объёмных элементов

Технические параметры	Заводы ОБД или ДСК							
	Киевский ДСК (рис. 3.1)	Проект ЦНИИЭП-жилищ. (рис. 3.2)	Минский ОБД (рис. 3.3)	Новолукомльский ОБД (рис. 3.4)	Вологодский ОБД (рис. 3.5)	Кременчугский ОБД (рис. 3.6)	Хабаровский ОБД (рис. 3.6)	Краснодарский ОБД (рис. 3.7)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Способ формования	Подъёмная виброплощадка	Виброударная площадка	Кассетный	Подвижный сердечник	Подвижный сердечник	Кассетный с вакуумированием	Кассетный с вакуумированием	Кассетный
Подвижность бетонной смеси, см	6–8	2–4	18–20	3–5	2–4	18–20	14–16	20–22
Расход цемента, кг/м ³	380	350	460	375	380	385	480	550
Длительность формования, мин	20	60	60	20	40	60	90	60
Продолжительность тепловой обработки, ч	9	3 + 8	6	3,5 + 8,0	8	2,5 + 8	4 + 8	5 + 10

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество формовочных установок в технологическом пролёте	2	6	3	2	1	1	2	4
Производительность формовочной установки, штук в смену	6	2,5	1	2	7	3	2,8	1
Масса технологического оборудования, т	420	400	875	398	575	548	446	765

Контрольные вопросы

1. Сравните конструктивные особенности объемных элементов типа «колпак», «стакан» и «лежащий стакан».
2. Объясните причину преимущественного изготовления объемных элементов типа «колпак».
3. Чем вызвана необходимость повышенного расхода цемента при производстве объемных элементов?
4. Перечислите конструкторские и технологические приемы, обеспечивающие снижение расхода цемента при изготовлении объемных элементов.
5. Каковы существенные особенности изготовления объемных элементов на Вологодском заводе ОБД?

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бетонные и железобетонные трубы применяют в гражданском и промышленном строительстве при прокладке водопроводных и канализационных сетей, при организации водопропусков в транспортном строительстве, для мелиорации почв и в гидротехнических сооружениях. По технологии производства труб изготавливают сваи и колонны круглого сечения, опоры освещения, кольца колодцев и т.д. Хотя доля трубчатых конструкций в общем объёме сборного железобетона не превышает 2 %, но с учетом тонкостенности конструкций суммарная протяжённость ежегодно производимых труб составляет более 2 000 км [17].

В России и за рубежом серийно выпускаются трубы диаметром 250÷3500 мм длиной до 5 м, при технико-экономическом обосновании возможен выпуск отдельных видов труб длиной до 10 м. Чаще всего трубы имеют круглое сечение, что предпочтительно по условиям гидравлической работы, а также технологии производства и монтажа трубопроводов.

По условию транспортирования жидкостей трубы делятся на безнапорные и напорные.

Безнапорные предназначены для транспортирования жидкостей самотёком с неполным (до 96 % от диаметра) сечением, а напорные в зависимости от класса напорности должны выдерживать соответствующее давление транспортируемой жидкости.

Безнапорные трубы армируют ненапрягаемой арматурой в виде продольных стержней и спирального каркаса, а напорные — преднапряжённой, причём как продольной, так и спиральной в зависимости от степени напорности.

Для соединения труб применяют три основных вида стыковых соединений: раструбный, фальцевый и муфтовый (рис. 5.1). Хотя раструбный стык сложнее в изготовлении, но благодаря резиновому кольцу возможно продольное смещение труб до 3–5 мм и их взаимный поворот до 3° при сохранении водонепроницаемости. Поэтому раструбный стык называют гибким, он позволяет предъявлять менее жёсткие требования к основанию трубопровода. Фальцевый и муфтовый стыки проще в изготовлении, но они

жёсткие и не допускают взаимного перемещения труб, что требует высокой точности при подготовке основания под трубопровод.

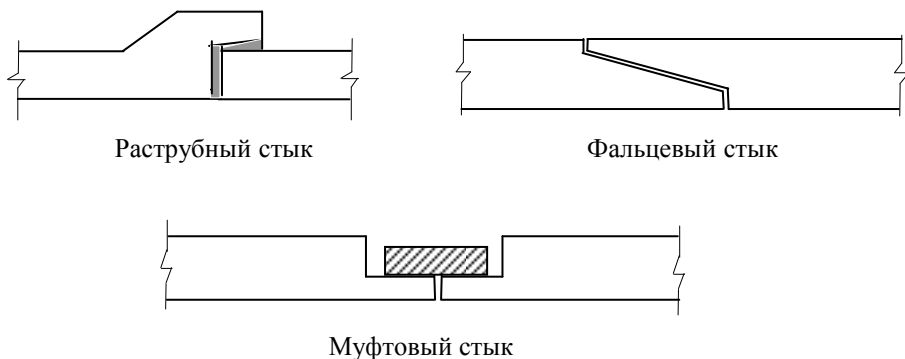


Рис. 5.1. Основные виды стыков труб

Впервые бетонные трубы в нашей стране были изготовлены в середине XIX века для прокладки ливневой канализации в г. Одессе. Трубы изготавливались методом трамбования в деревянных формах звеньями длиной до 1 м. Позднее трубы начали армировать и удлинять, а для увеличения производительности были разработаны новые методы формования: центрифугирование, виброформование, радиальное прессование, центробежный прокат, торкретирование и их комбинации [1].

5.1. Безнапорные трубы

Из всех трубчатых конструкций безнапорные трубы являются наиболее массовыми изделиями. Их конструктивные особенности у нас в стране регламентируются ГОСТ 6482-88 «Трубы железобетонные безнапорные».

В зависимости от условий работы и конструктивных особенностей к трубам предъявляются требования по прочности на растяжение и изгиб, по трещиностойкости, продольной жёсткости, водонепроницаемости, коррозионной стойкости, а в отдельных случаях и морозостойкости. Столь сложный комплекс требований предполагает тщательный отбор материалов и строгое соблюдение технологии производства.

Безнапорные трубы изготавливают диаметром от 300 до 3500 мм при длине до 5 м, преимущественно круглого сечения и с гладкой стенкой. По несущей способности трубы подразделяют на три категории в зависимости от глубины засыпки грунта: для I категории труб глубина засыпки составляет 2 м, для II – 4 м, для III – 6 м [23]. С целью повышения несущей способности труб сконструированы более сложные поперечные сечения в виде овала и арки, а также постелистые трубы с плоской подошвой для опирания и с подставкой (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Виды сечений безнапорных труб

Для повышения продольной жёсткости у нас в стране разработаны конструкция и технология изготовления ребристых труб [17]. Но объёмы производства всех видов труб, кроме гладких с круглым сечением, крайне ограничены из-за сложности изготовления.

Безнапорные трубы армируют ненапрягаемой арматурой, состоящей чаще всего из продольных стержней стали класса А400 и навитой на них спиральной арматуры классов А 240 или В 400 ÷ 1200. Трубы диаметром до 1000 мм армируют одиночным спиральным каркасом, а трубы большего диаметра – двойным [23].

Одним из перспективных вариантов является дисперсное армирование металлической фибровой арматурой, которое обеспечивает более высокие деформативные свойства бетона [22].

Наиболее жёсткие требования при выборе материалов предъявляются к составляющим бетона. Предпочтительно использовать высокоармочные (М 500 и выше) высокоалитовые цементы с содержанием алюминатов не более 5 %. Возможно применение напрягающих цемента НЦ 20 и НЦ 40, но из-за быстрых сроков

схватывания выбор технологий изготовления труб на напрягающих цементах весьма ограничен. Средний расход цемента для трубчатых конструкций составляет 400–500 кг на 1 м³ бетона, а иногда и выше, что обусловлено высокими требованиями к бетону в тонкой стенке.

Поскольку трубы относятся к тонкостенным конструкциям, наибольший размер зёрен крупного заполнителя не превышает 10 мм, а зачастую от него отказываются совсем, используя мелкозернистые бетоны. Выбор вида крупного заполнителя (щебень или гравий) зависит от технологии изготовления труб: при производстве труб из жёстких бетонных смесей чаще используют щебень, а для высокоподвижных смесей предпочтителен гравий. Песок для труб рекомендуется средне- и крупнозернистый с модулем крупности $M_{кр} > 2$ без пылеватых, илистых и глинистых примесей. Исходя из условий эксплуатации при производстве всех трубчатых конструкций желательно использовать гидрофобные добавки, поскольку они снижают водопроницаемость бетона. Другие виды добавок подбирают с учётом принятой технологии изготовления труб. В целом для производства безнапорных труб используют бетон классов В 22,5 – В 35.

Изготовление безнапорных труб по любой технологии предполагает последовательное выполнение стадийных процессов подготовки форм, армирования, формования, ускоренного твердения, отделки и контроля качества готовой продукции.

Формы для производства труб делают металлическими, состоящими из двух полуформ, а при больших диаметрах – из четырех. Соединение частей форм осуществляют с помощью болтовых или рычажных замков. Толщина трубчатой конструкции обеспечивается торцевыми кольцами, которые крепятся, как правило, болтами к торцам форм. Ряд технологий предполагает формование в форме с сердечником, который может быть цельнометаллическим со встроенными вибраторами или без них. Такие сердечники применяют при формовании с немедленной распалубкой изделия. Для извлечения сердечника из формы после тепловой обработки его делают складным [17]. Чистят формы металлическими скребками или ручными шлифовальными машинками, смазку наносят распылителями или квачами.

Безнапорные трубы армируют одиночными или двойными (для труб большого диаметра) спиральными каркасами, для изготовления которых используют навивочные станки (рис. 5.3).

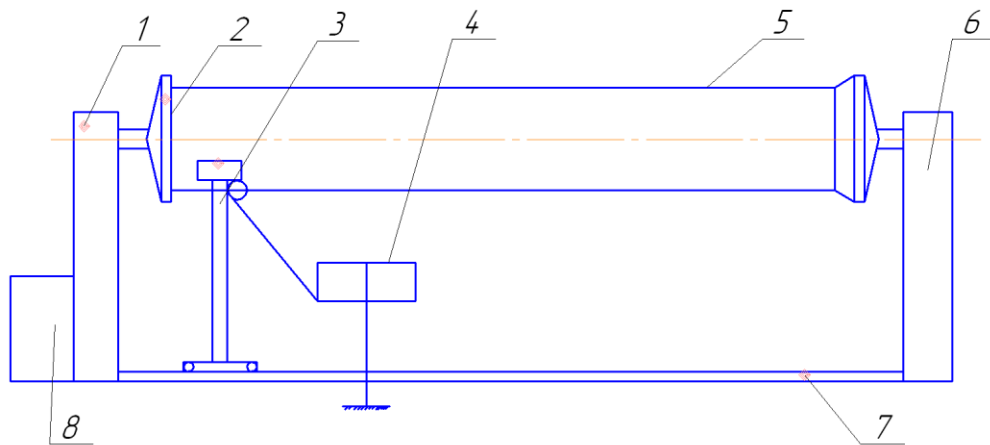


Рис. 5.3. Станок для изготовления спирального каркаса:

1,6-станина; 2 – планшайба; 3 – подвижная каретка со сварочной головкой; 4 – бухтодержатель;
5 – продольная арматура или сердечник; 7 – рельсы; 8 – привод

В состав станков входят: планшайба с приводом вращения, каретка с механизмом продольного возвратно-поступательного перемещения, сварочный агрегат, механизм подачи спиральной арматуры с бухты. Для изготовления каркаса продольные стержни закрепляют на планшайбе и диске с противоположной стороны станка. Спиральная арматура сматывается с бухты и за счёт вращения планшайбы и перемещения каретки навивается на продольную арматуру. Сварочная головка производит сварку точек их пересечения продольной и спиральной арматуры. Для труб большого диаметра применяют станки, изготавливающие каркасы в вертикальном положении, что особенно удобно при вертикальном формировании.

Процесс формирования будет описан далее отдельно для каждого из методов формирования трубчатых конструкций.

Режимы тепловой обработки для труб должны быть мягкими. Предварительная выдержка изделий должна составлять 2–3 ч, подъём температуры плавный – 4–5 ч, изотермический прогрев – 3–4 ч при температуре не выше 70 °С и повышенной влажности. Охлаждать изделия необходимо также медленно, без резких температурных скачков. Такие условия тепловой обработки обеспечат формирование улучшенной структуры цементного камня с минимальной пористостью и высокой степенью гидратации минералов цемента, что для труб особенно важно.

К отделке труб чаще всего относят операции по расточке раструба, поскольку для герметизации стыка форма раструба и шероховатость поверхности должны соответствовать требованиям ГОСТа. Обеспечить эти требования в процессе формирования не всегда удаётся. Расточку раструба выполняют с помощью шлифовального станка по соответствующему шаблону.

Для всех труб в процессе приёмки-сдачи контролируют: класс бетона на сжатие по образцам-кубикам, соответствие арматурных изделий рабочим чертежам, прочность сварных соединений, точность геометрических размеров, толщину защитного слоя бетона до арматуры, качество бетонной поверхности и ширину усадочных трещин. Раз в три месяца проводят натурные испытания труб на прочность, трещиностойкость и водонепроницаемость. Труба соответствует требованиям по прочности, если без разрушения в течение 10 минут выдерживает контрольную нагрузку; по трещиностойкости, если ширина раскрытия трещин не превышает 0,2 мм;

по водонепроницаемости, если через 10 минут после нагнетания внутрь трубы воды под давлением 0,05 МПа на ее поверхности не будет течи или отдельных капель [23].

5.1.1. Изготовление безнапорных труб методом центрифугирования

При центрифугировании распределение и уплотнение бетонной смеси происходит за счёт вращения формы и взаимодействия силы тяжести и центробежной силы (рис. 5.4). Если сила тяжести (mg) превышает центробежную ($m\omega^2 r$), т.е. скорость вращения (ω^2) ниже критической, то бетонная смесь при прохождении верхней точки будет падать вниз, что постепенно приведёт к распределению бетонной смеси по поверхности формы.

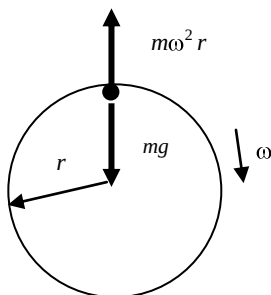


Рис. 5.4. Схема распределения сил при центрифугировании

С увеличением скорости вращения формы центробежная сила возрастёт и начнётся уплотнение бетонной смеси. Поэтому, чем выше скорость, тем интенсивнее уплотнение и в целом короче цикл формования. Поскольку центробежная сила зависит от массы, то более тяжёлые частицы (крупный заполнитель) будут быстрее отжиматься к форме, а более лёгкие (цементное молоко и вода) будут концентрироваться на внутренней поверхности формируемой трубы. При таком естественном распределении составляющих бетонной смеси по плотности наружная поверхность трубы, сформированная плотной и прочной, внутренняя – пористой и менее прочной. Кроме того, последняя будет иметь направленную пористость, сформировавшуюся при отжиме цементного молока, что

является существенным недостатком центрифугированных труб. Устранить его возможно за счёт послойного формования, когда второй слой перекрывает дефектную структуру первого. Однако такое формование требует больших затрат времени, что снижает производительность технологической линии.

Конструктивные особенности центрифуг определяют области их применения. Первыми появились ременные центрифуги с сыромятными ремнями (рис. 5.5). Скорость вращения формы зависит от угла охвата ее ремнём, поэтому на одноременной центрифуге (рис. 5.5, *а*) разгон и торможение будут продолжительнее, т.е. увеличится цикл формования. Кроме того, при высоких скоростях возможен вылет формы с центрифуги, что дополнительно ограничит, с учётом техники безопасности, предельную скорость ее вращения. Двухременная центрифуга (рис. 5.5, *б*) будет лишена указанных недостатков благодаря большему углу охвата формы ремнями и высокому размещению поддерживающих роликов.

Ременные центрифуги отличаются бесшумностью работы, а гибкость ремней обеспечивает самобалансировку форм. В целом они более быстроходны и производительны, чем другие виды центрифуг, но их область применения ограничивается производством труб диаметром до 800 мм, поскольку более тяжёлые формы приводят к быстрому вытягиванию ремней и необходимости их замены.

На роликовых центрифугах (рис. 5.6) возможно изготовление труб диаметром до 2000 мм и даже двух сразу. Из-за низкого коэффициента сцепления между формой и металлическими роликами, на которые она опирается, скорости вращения будут пониженными по сравнению с ременными центрифугами. Тихоходность роликовых центрифуг приводит к удлинению цикла формования и пониженной производительности. При работе роликовые центрифуги создают повышенный уровень шума, что требует специальных мер защиты для рабочих. Особые требования предъявляются к качеству изготовления форм. Они должны быть хорошо сбалансированы, в противном случае при их вращении возникает вибрация, снижающая качество изготавливаемых труб [1].

На ременных и роликовых центрифугах возможно изготовление труб длиной до 10 и более метров, что невозможно на других видах центрифуг и другими методами формования.

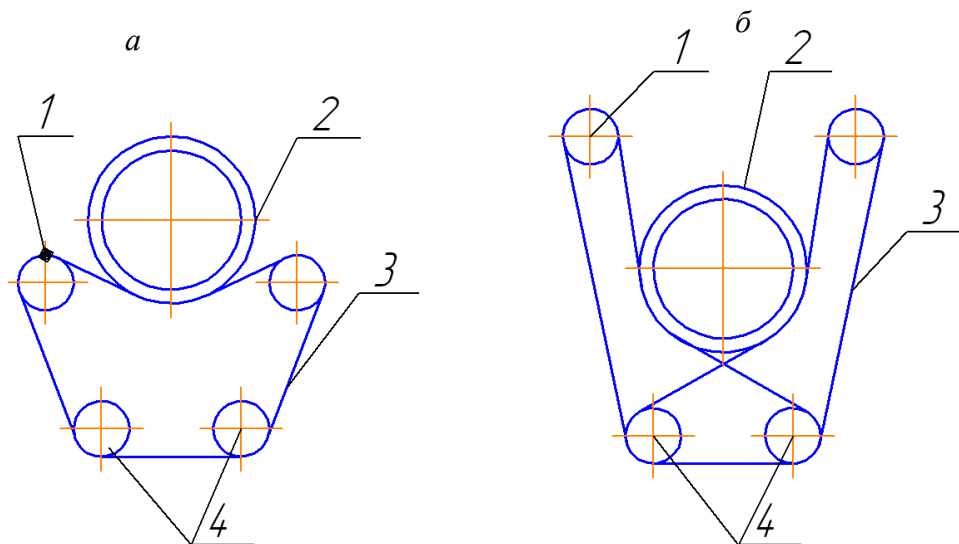


Рис. 5.5. Ременная центрифуга:

a – одноременная; *б* – двухременная;
 1 – поддерживающие ролики; 2 – форма; 3 – ремни ; 4 – приводные ролики

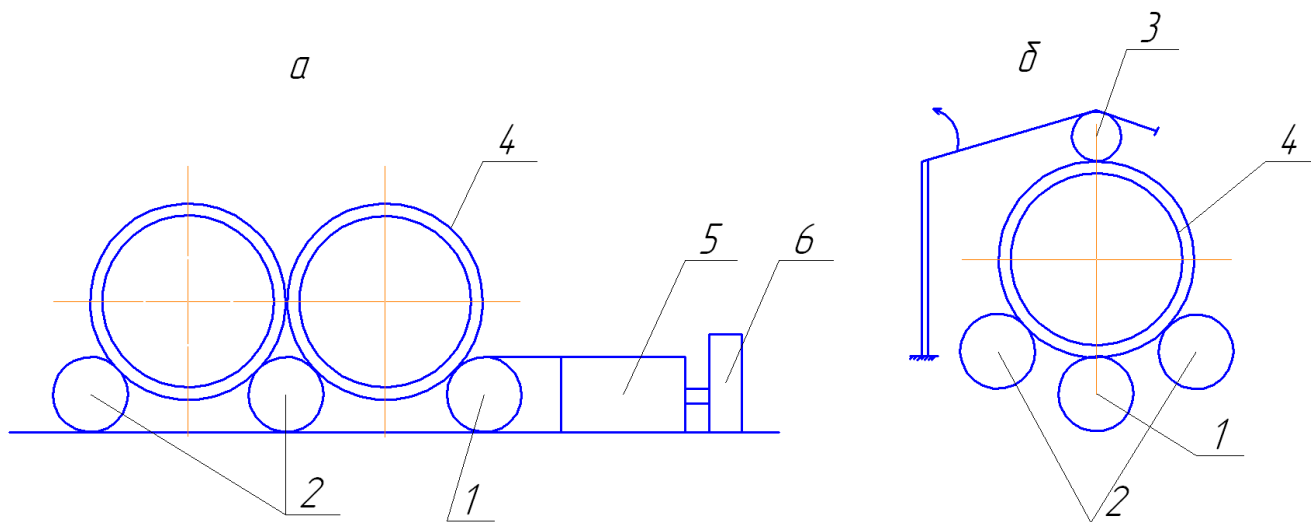


Рис. 5.6. Роликовые центрифуги:

a – двухгнездовая (двухместная); *б* – одногнездовая (одноместная);
 1 – приводной ролик; 2 – ведомые ролики; 3 – предохранительная скоба с прижимным роликом;
 4 – форма; 5 – вариатор скорости; 6 – электродвигатель

Для создания плавности хода центрифуг формы при подготовке дополнительно оснащаются бандажами, которые состоят из двух полуколец с внутренними замками. Замки форм закрываются бандажами, чем обеспечивается цилиндрическое очертание форм, и именно бандажами форма опирается на ремни или ролики центрифуги.

Ограниченное применение нашли осевые и люнетные центрифуги (рис. 5.7 и 5.8), на которых не предусматривается изменение длины и диаметра изготавливаемых труб, а высокая металлоёмкость дополнительно снижает их эффективность. На шпиндельных центрифугах (рис. 5.9) в процессе формирования кроме центробежных сил участвуют прессование и вибрация, обеспечивая высокое качество уплотнения бетонной смеси и высокую прочность бетона [4]. Поэтому на шпиндельных центрифугах, как правило, изготавливают напорные трубы (будут рассмотрены в разделе 5.2.1).

Перед началом формирования бетонную смесь подвижностью 6–8 см подают в форму с помощью ленточного или ложкового питателя. Для труб диаметром до 300 мм раскладку смеси осуществляют в нижнюю полуформу на посту сборки форм, далее устанавливают верхнюю полуформу и закрывают замки. Для труб диаметром 300÷500 мм бетонную смесь подают в собранную форму непосредственно на центрифуге.

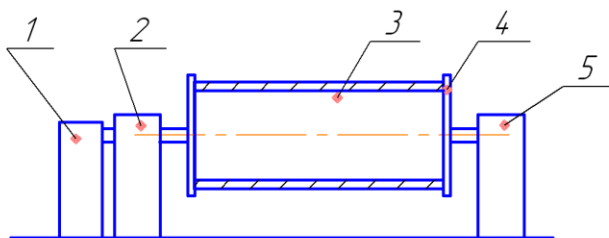


Рис. 5.7. Осевая центрифуга:

1 – рабочий двигатель; 2 – редуктор; 3 – форма;
4 – торцевые планшайбы; 5 – разгонный двигатель

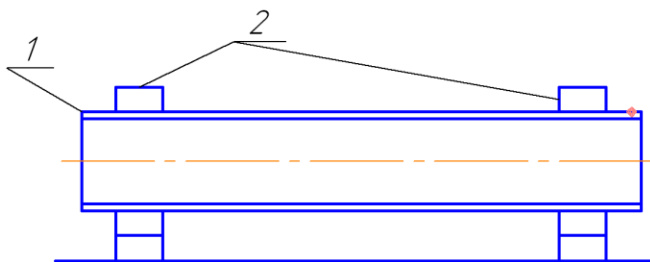


Рис. 5.8. Люнетная центрифуга:

1 – форма; 2 – роликовая опора

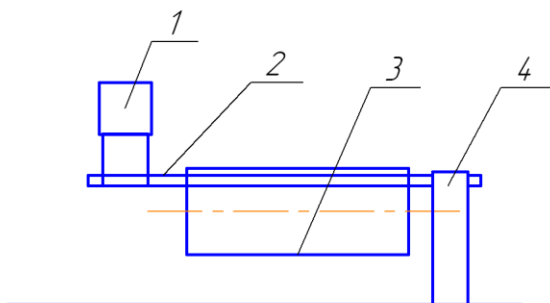


Рис. 5.9. Шпиндельная центрифуга:

1 – опорная рама для поддержки шпинделя; 2 – шпиндель;
3 – форма; 4 – электродвигатель

В трубы большего диаметра бетонную смесь начинают подавать после начального разгона формы. Стадия распределения смеси по форме длится 5–20 мин при скорости вращения 60–150 об/мин в зависимости от диаметра трубы и вида центрифуги. Стадия уплотнения осуществляется на скорости 400–900 об/мин в течение 10–25 мин.

В целом цикл формования варьируется от 15 мин для труб маленького диаметра, формируемых на ременных центрифугах, до 50 мин при формовании труб большого диаметра на роликовых центрифугах.

В процессе центрифугирования, как уже отмечалось, происходит отжим цементно-водного шлама. Общее снижение водосодержания может достигать 20–25 % от первоначального, благо-

творно влияя на конечную плотность и прочность бетона. Шлам при центрифугировании концентрируется внутри трубы и после завершения формования при подъёме одного конца формы сливается в специальную ёмкость. Возможно повторное использование шлама для приготовления бетонной смеси. Далее форма отправляется на тепловую обработку, чаще всего в ямную пропарочную камеру. Устойчивость форм и изделий в цехе обеспечивается за счёт полукруглых подставок, называемых ложементами, которые размещаются на технологических постах линии. Рассмотрим агрегатную линию центробежного формования раструбных труб диаметром более 500 мм и длиной до 5 м (рис. 5.10) [4]. Ее отличительной особенностью является тепловая обработка на индивидуальных постах в вертикальном положении. Свежеотформованное изделие в форме кантуется в вертикальное положение раструбом вниз и краном устанавливается на пост тепловой обработки. Подача пара осуществляется снизу внутрь формы, которая сверху закрывается крышкой для снижения тепловпотерь. Такой вид тепловой обработки позволяет обеспечить оптимальный режим для каждой трубы, что невозможно в ямных камерах, где время предварительной выдержки для первого и последнего из загружаемых в камеру изделий может различаться на 2–3 ч. Такой разброс в режиме ТВО не может не сказываться на стабильности и качестве выпускаемой продукции.

Для производства центрифугированных труб большого диаметра (1500–2000 мм), при стальной востребованности их на рынке, более рациональной является схема конвейерной организации на стадии подготовки форм с тепловой обработкой в туннельной пропарочной камере (рис. 5.11) [17]. Такая схема организации рациональна для производства труб большого диаметра (1500–2000 мм) при большой и стабильной востребованности на рынке труб указанных диаметров.

В завершении рассмотрения центрифугирования как метода формования безнапорных труб следует отметить, что благодаря пониженной металлоёмкости оборудования и форм (при формовании не нужен сердечник) центрифугирование остаётся востребованным, особенно при производстве трубчатых конструкций небольшого диаметра и длиной более 5 м.

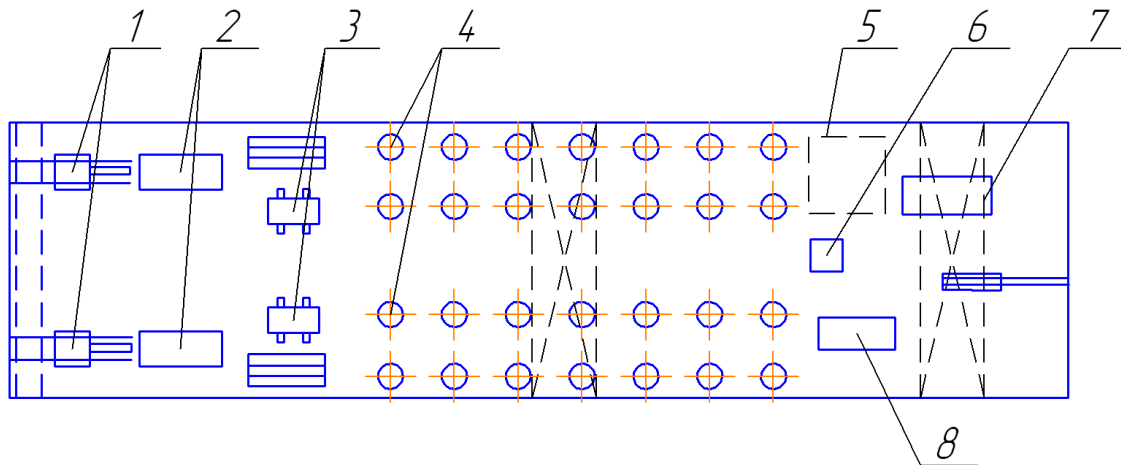


Рис. 5.10. Агрегатно-поточная схема производства безнапорных раструбных труб методом центрифугирования:

- 1 – лотковый питатель; 2 – роликовая или ременная центрифуга; 3 – пост установки бандажей; 4 – пост ТВО;
 5 – пост распалубки; 6 – станок для расточки раструба; 7 – станок для изготовления арматурного каркаса;
 8 – станок для гидравлических испытаний

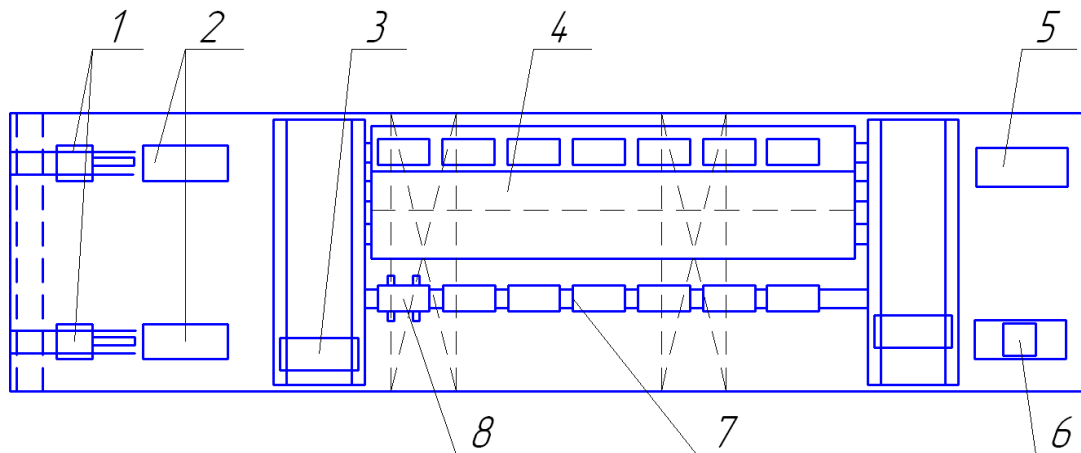


Рис. 5.11. Схема полуконвейерного производства безнапорных труб методом центрифугирования:

1 – лотковый питатель; 2 – роликовая центрифуга; 3 – передаточные тележки; 4 – туннельная камера;
 5 – установка для механических испытаний труб ; 6 – установка для гидравлических испытаний труб;
 7 – конвейер подготовки форм; 8 – пост установки бандажей

5.1.2. Виброформование трубчатых конструкций

За счёт тиксотропного разжижения цементного теста вибрирование позволяет эффективно уплотнять малоподвижные и жёсткие бетонные смеси, обеспечивая существенное снижение расхода цемента даже при производстве тонкостенных трубчатых конструкций.

Виброформование – единственный метод, позволяющий изготавливать трубы сложных очертаний: эллиптические, овальные или арочные. Основным недостатком метода является повышенная металлоёмкость форм и технологического оборудования.

На практике применяется горизонтальное и вертикальное виброформование труб.

Горизонтальное формование рационально при изготовлении труб небольшого диаметра (300÷600 мм) длиной до 6 м. Производство организуется по агрегатной схеме с формованием в одиночных или групповых формах. Технология производства аналогична изготовлению пустотных плит перекрытий.

Формовочный пост (рис. 5.12) оснащается виброплощадкой, вибропуансоном с кареткой перемещения и вибропригрузом криволинейного очертания для формования внешней поверхности трубы [17]. Также используют специальные формы с вырезом в верхней полуформе, через который подаётся бетонная смесь и осуществляется дополнительное уплотнение после установки вибропригруза в прорезь формы.

Процесс производства начинается на посту подготовки, где формы чистят, смазывают, армируют и собирают. Затем краном форма устанавливается на виброплощадку. Через прорезь в форме из бадьи подаётся часть требуемого объёма бетонной смеси, а потом вводится пуансон. Далее включают виброплощадку и вибратор пуансона и постепенно загружают недостающую часть бетонной смеси. С учётом немедленной распулочки её жёсткость должна составлять 10÷20 с. Далее устанавливают вибропригруз и продолжают уплотнение до появления цементного молока на верхней поверхности пуансона за пределами торцевых колец формы. После отключения всех вибраторов вначале выдвигают пуансон. При этом пригруз оказывает стабилизирующее действие на свежееотформованную бетонную смесь, препятствуя обрушению стенки трубы. Затем поднимают кронштейн с пригрузом, а форму краном

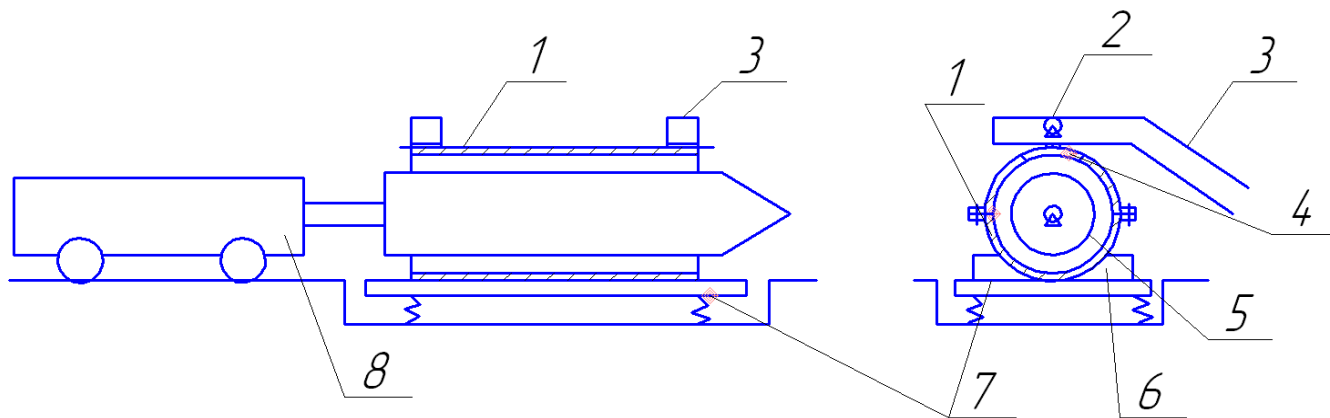


Рис. 5.12. Горизонтальное виброформование труб в одиночной форме:

1 – форма; 2 – вибраторы пригруза; 3 – наклоняющийся кронштейн пригруза; 4 – пригруз;
5 – пуансон; 6 – ложемент; 7 – виброплощадка; 8 – тележка для перемещения пуансона

перемещают в пропарочную камеру. Для труб диаметром 300 мм цикл формования составит около 15 мин, а для труб диаметром 600 мм не превысит 25 мин.

По аналогичной технологии возможно изготовление труб в групповых формах (рис. 5.13), которые, в отличие от одиночных форм, не имеют выреза в верхней части. Поэтому загрузка строго отдозированного количества бетонной смеси производится в нижнюю полуформу до её сборки. Для интенсификации уплотнения используют пневмопригруз, позволяющий легко менять давление, добиваясь распределения бетонной смеси по всей форме. Высокое качество получаемых труб компенсирует повышенную трудоёмкость в работе с пневмопригрузом.

Вертикальное виброформование наиболее предпочтительно при производстве труб большого диаметра. Возможны варианты с неподвижным и перемещающимся в процессе формования сердечником, который, в свою очередь, может быть как цельнометаллическим, так и сборно-разборным. Особенность форм при вертикальном формовании заключается в наличии днища в виде торцевого кольца с фиксатором для размещения арматурного каркаса в проектном положении. Для формования раструбных труб торцевое кольцо оснащается конусом, повторяющим профиль раструба с внутренней стороны трубы. Формовочный пост желательно оснащать площадкой обслуживания с изменяемой высотой для формования труб разной длины. Проблема равномерной подачи бетонной смеси в тонкие стенки трубы может быть решена за счёт использования воронки с размещённым внутри виброконусом.

Способом вертикального виброформования с неподвижным сердечником (рис. 5.14) можно изготавливать трубы диаметром 500÷3500 мм длиной до 5 метров [17]. Навесные вибраторы, прикрепляемые к форме на посту формования, и вибросердечник способны эффективно уплотнять бетонную смесь с жёсткостью 5–10 с. Процесс формования в зависимости от диаметра и длины трубы может занять 30 и более минут.

После формования технология предусматривает немедленную распалубку изделия при подъёме формы краном, что требует от крановщика ювелирной точности во избежание обрушения стенок трубы. Тепловую обработку изделий желательно проводить тоже в вертикальном положении на индивидуальных постах (см. рис. 5.10).

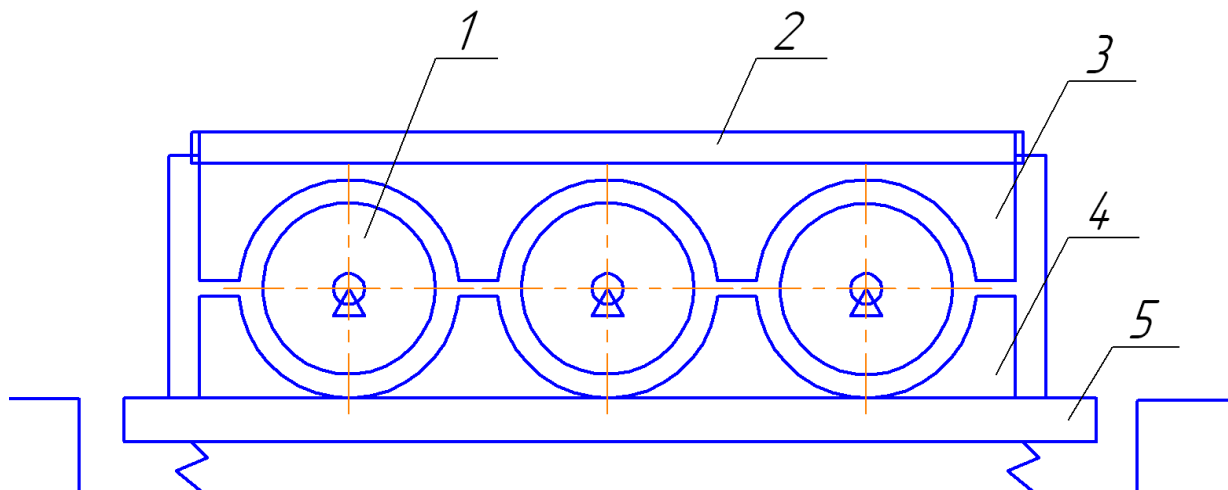


Рис. 5.13. Горизонтальное виброформование труб в групповых формах:
 1 – вибропуансон; 2 – пневмопригруз; 3 – штамп для формования верхней половины труб;
 4 – поддон с полуформами; 5 – виброплощадка

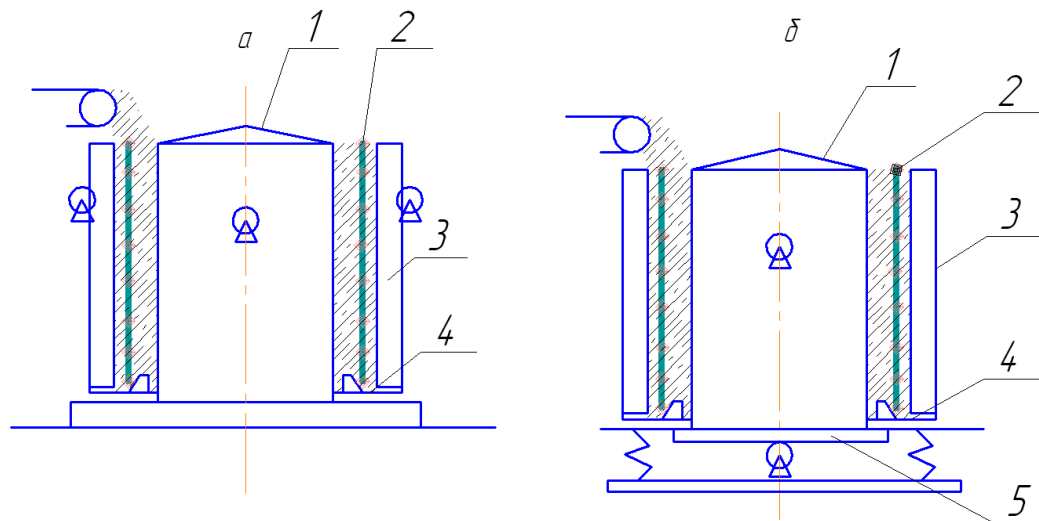


Рис. 5.14. Вертикальное виброформование труб с неподвижным сердечником:

a – с навесными вибраторами; *б* – на виброплощадке;

1 – сердечник; 2 – арматурный каркас; 3 – форма; 4 – торцевое кольцо или днище формы; 5 – виброплощадка

При размещении сердечника на виброплощадке (рис. 5.14, б) интенсивность уплотнения возрастает, что позволяет использовать более жёсткие бетонные смеси ($J = 10\text{--}20$ с) с меньшим расходом цемента. Дополнительно сокращается цикл формования.

Подвижный вибросердечник даёт возможность тщательно уплотнять небольшие объёмы постепенно подаваемой бетонной смеси, использовать также жёсткие бетонные смеси ($J = 10\text{--}20$ с) и уплотнять их без виброплощадки.

Виброформование с подвижным сердечником (рис. 5.15, а) рационально применять при производстве трубчатых конструкций диаметром 300 ± 500 мм длиной 6 и более метров. Существенным недостатком данного варианта является необходимость устройства глубокого приямка под сердечник, т.к. разместить формовочный пост выше нулевой отметки цеха не позволяет стандартная высота подкрановых балок в типовых промышленных зданиях.

При формовании с опусканием формы (рис. 5.15, б) возможен выпуск труб диаметром $800\text{--}1\,500$ мм длиной до трёх метров. Оба варианта подвижного формования отличаются длительным циклом: 30–50 мин в зависимости от габаритов труб. Также сохраняется вероятность повреждения свежетоформованного изделия в процессе съёма формы с сердечника.

Важнейшим условием получения качественных виброформованных труб является эффективное уплотнение весьма жёстких бетонных смесей в тонких стенках труб, ещё и армированных. Некачественное уплотнение может явиться причиной изготовления «дырявых» труб, что потребует длительного ремонта.

Большинство отмеченных проблем удалось решить на Московском заводе ЖБИ № 23 при организации выпуска труб с внутренней полиэтиленовой облицовкой [17]. Освоено производство труб диаметром $1\,000\text{--}1\,600$ мм, длиной 3,5 м. Первоначально потребовалась разработка разъёмного сердечника, выполненная СКТБ «Моспромстройматериалы». Трансформируемый сердечник состоит из гибкого стального листа, который скручивается в цилиндр за счёт перемещения центральной штанги, шарнирно соединённой тягами с листом. Такая конструкция сердечника позволяет производить распалубку сердечника уже после тепловой обработки, что невозможно при использовании цельнометаллического сердечника из-за высокой прочности сцепления его с бетоном трубы.

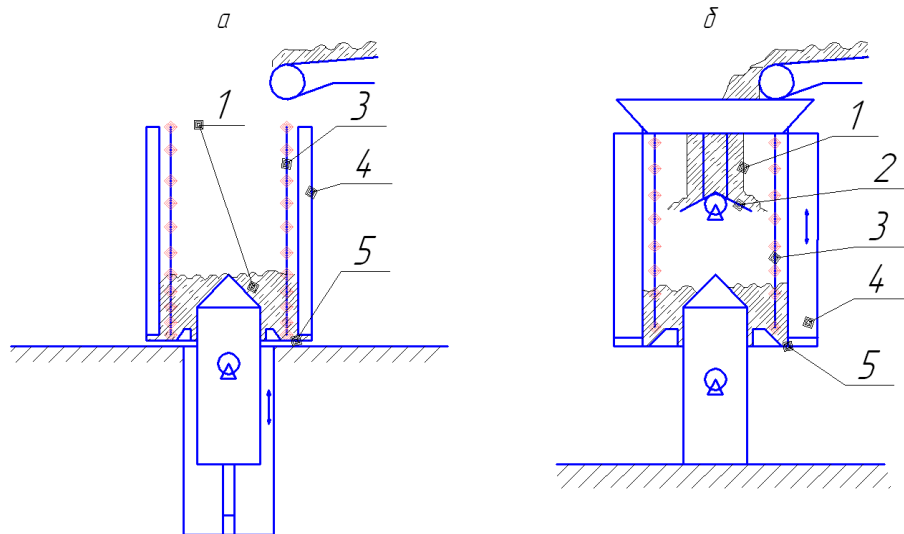


Рис. 5.15. Вертикальное виброформование труб с подвижным сердечником или формой:

a – с вертикальным перемещением вибросердечника; *б* – с опусканием внешней формы;
 1 – бетон; 2 – распределительная воронка с вибратором; 3 – арматурный каркас; 4 – внешняя форма; 5 – днище формы

Дополнительно линия оснащается экструзионной установкой для изготовления полиэтиленового сердечника в виде бесшовного рукава, отрезаемого гильотинными ножницами. Толщина его составляет $1,5 \div 2,0$ мм; внутренняя поверхность гладкая, а наружная – ребристая для увеличения сцепления с бетоном трубы.

Технологический процесс начинается с чистки и смазки внешних полуформ, далее устанавливается спиральный каркас и собирается форма. Одновременно полиэтиленовый чехол надевается на металлический сердечник, который центробежной штангой фиксируется в цилиндрическом виде. Собранный сердечник в вертикальном положении устанавливается на нижнее торцевое кольцо, а сверху на сердечник надвигается заармированная форма. Формование может осуществляться на серийно выпускаемых виброплощадках или за счёт навесных вибраторов, размещаемых на форме. Используют умеренно подвижные бетонные смеси с ОК= 4 – 6 см. После формования и ТВО вначале извлекают краном металлический сердечник, который стропят за центральную штангу. При подъёме тяги сердечник скручивается и извлекается из трубы, а затем распалубливают внешнюю форму. Готовую трубу отправляют на контроль и приёмку.

Такие трубы могут быть переведены в класс низконапорных, поскольку за счёт полиэтиленового чехла способны выдерживать внутреннее давление до 0,3 МПа.

Основным достоинством виброформования трубчатых конструкций следует признать невысокий расход цемента ($350\text{--}400$ кг/м³) благодаря возможности эффективно уплотнять малоподвижные и жесткие бетонные смеси с низким В/Ц. В области производства труб диаметром более 2,5 м виброформование является наиболее предпочтительным способом. Также метод виброформования позволяет изготавливать трубы сложных очертаний. Однако высокая металлоёмкость форм и технологического оборудования снижает конкурентоспособность вибрированных труб малых и средних диаметров по сравнению с трубами, изготовленными другими способами.

5.1.3. Изготовление труб методом радиального прессования

Впервые технология радиального прессования была разработана в США во второй половине XX века. Лидерами в производстве радиально прессованных труб являются американские фирмы «Маккракен» и «Гидротайл», итальянская «Сиоме» и немецкая «Пфайфер». В СССР станки радиального прессования были разработаны Гидростроммашем в 80-е годы XX века. У нас в стране и за рубежом освоен выпуск труб методом радиального прессования диаметром от 300 до 2 400 мм длиной до 5 м [17].

Технология радиального прессования предполагает комплексное воздействие на бетонную смесь за счёт центробежного набрызга и уплотнения прессованием. Ведущим элементом технологического оборудования является трёхъярусная роликовая головка, вертикально перемещаемая штоком (рис. 5.16) [19]. На верхнем ярусе головки размещены четыре вращающиеся лопатки, которые осуществляют набрызг бетонной смеси, подаваемой сверху. Соосно с лопатками движутся прессующие ролики, составляя второй ярус. Третий ярус представлен заглаживающим диском, который вместе со штоком вращается в противоположную от лопаток и роликов сторону.

Формовочный пост технологической линии (рис. 5.17) оснащается поворотным столом с двумя гнёздами для установки форм, подъёмной виброплощадкой с насадкой для формирования раструба, силовой установкой для перемещений штока с роликовой головкой и ленточным конвейером для подачи бетонной смеси [22].

Процесс производства начинается с подготовки формы, которая состоит из двух полуформ с рычажными замками и нижнего торцевого кольца. Предварительно изготовленный спиральный арматурный каркас краном вертикально устанавливается на торцевое кольцо. С поста распалубки подаются две полуформы и соединяются с торцевым кольцом и друг с другом. Собранная форма фиксируется в свободном гнезде поворотного стола. После завершения предыдущего формовочного цикла поворотный круг поворачивается на 180° и подготовленная форма устанавливается на формовочный пост. В раструбную часть формы поднимается виброплощадка с раструбной насадкой, а сверху опускается шток с роликовой головкой в крайнее нижнее положение. С тракта подачи жёсткая бетонная смесь ($J = 20\text{--}30\text{ с}$) попадает на лопатки, вращающиеся со скоростью 30 об/с, и отбрасывается на стенки формы.

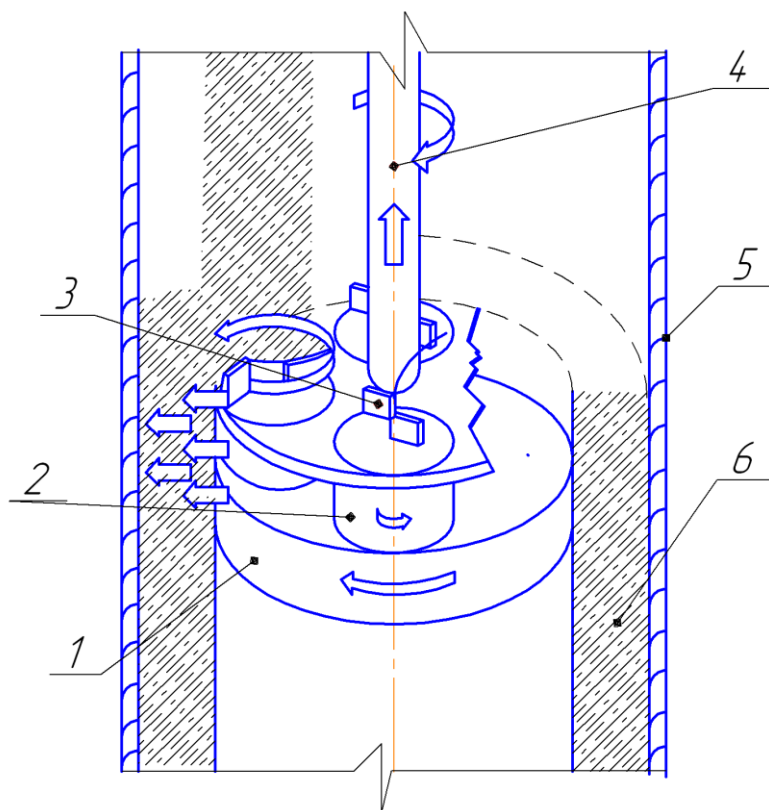


Рис. 5.16. Радиальное прессование труб:

1 – заглаживающий диск; 2 – прессующие ролики;
3 – вращающиеся лопатки; 4 – шток; 5 – форма; 6 – отформованная труба

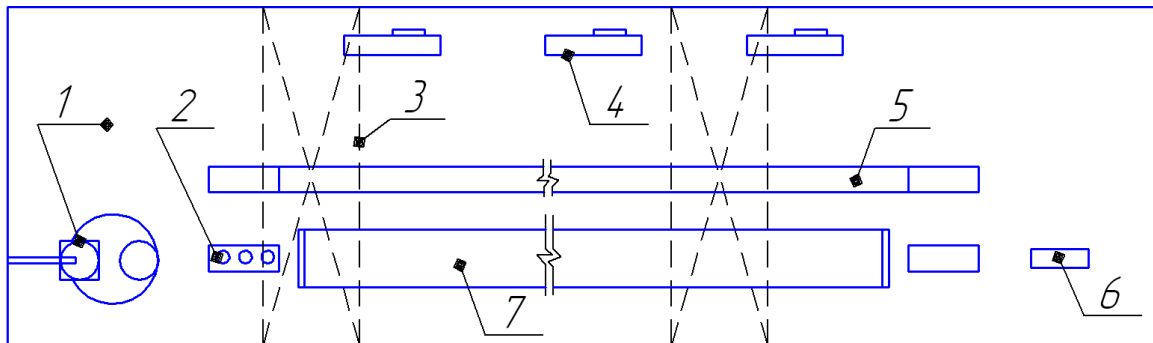


Рис. 5.17. Технологическая линия по производству труб методом радиального прессования:

1 – станок радиального прессования; 2 – вагонетка с отформованными трубами; 3 – кран;
4 – станок для изготовления каркасов труб; 5 – конвейер возврата вагонеток; 6 – кантователь; 7 – туннельная камера

Далее включают виброплощадку, и бетонная смесь за счёт тиксотропного разжижения попадает в раструб и уплотняется. После формования раструба виброплощадку отключают, а роликовая головка начинает подниматься вверх, формируя при этом цилиндрическую часть трубы. Завершают формование прекращением подачи бетонной смеси, подъёмом роликовой головки над формой, опусканием виброплощадки с раструбной насадкой и поворотом стола на 180°.

В целом цикл формования составляет 5–7 мин для труб малых диаметров и 10–15 мин для больших. С поворотного стола форма с изделием краном переставляется на вагонетку, где форма распалубливается и подаётся на пост сборки. В процессе распалубки возможно амортизационное раскручивание арматурного каркаса, вызванное его перемещением за прессующими жёсткую бетонную смесь роликами. Частично эффект закручивания каркаса компенсируется противоположным вращением заглаживающего диска роликовой головки.

Амортизация арматурного каркаса при распалубке может приводить к частичному или полному разрушению свежееотформованной трубы. Во избежание этого необходимо строгое соблюдение всех технологических регламентов в процессе производства. В зависимости от диаметра труб на вагонетку устанавливается от 2 до 6 свежееотформованных изделий. Укомплектованная вагонетка подаётся в туннельную камеру на тепловую обработку, длительность которой составляет 10–12 ч. После камеры трубы кантуются в горизонтальное положение и краном отправляются на расточку раструба и приёмочные испытания. После съёма всех труб вагонетка с торцевыми кольцами по возвратному конвейеру подаётся на пост сборки форм.

За счёт короткого цикла формования радиальное прессование обеспечивает самую высокую производительность по сравнению с другими методами формования труб (15–30 тыс. м³/год в зависимости от диаметра труб).Metalloёмкость производства благодаря использованию на линии всего двух форм достаточно невысока. Основные затраты при организации производства приходятся на приобретение комплекта роликовых головок, индивидуальных для каждого диаметра выпускаемых труб.

В целом производство радиально прессованных труб в интервале диаметров 500–800 мм является наиболее экономически эффективным с учётом высокой производительности, качества выпускаемой продукции, удельных капитальных вложений на организацию линии и срока окупаемости вложений [19].

5.2. Напорные трубы

Напорные трубы используют для транспортирования воды в водопроводных сетях и системах орошения, для переброски больших ее объёмов в засушливые районы [17].

Впервые напорные трубы были изготовлены во Франции фирмой «Бонна» для 1,5 км водовода в Париже, который эксплуатируется до сих пор. Это были трубы диаметром 180 мм со сварным металлическим сердечником, защищённым бетоном с двух сторон. У нас в стране массовое производство напорных труб началось в 60-е годы XX века. В настоящее время 95 % их изготавливаются по двум технологиям: методом виброгидропрессования и со стальным сердечником [20]. Остальные технологии имеют ограниченное применение, но, совершенствуясь, могут получить более широкое распространение.

По ГОСТ 22000-86 напорные трубы подразделяют на классы Н1, Н3, Н5, Н10, Н15, Н20, способные выдерживать внутреннее давление 0,1; 0,3; 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 МПа соответственно. Такие трубы изготавливают диаметром от 250 до 5 000 мм при длине до 10 м. По виду стыковых соединений напорные трубы чаще всего делают раструбными [17].

По степени напорности трубы принято делить на низконапорные (Н1, Н3), средненапорные (Н5, Н10) и высоконапорные (Н15, Н20). Для низконапорных разработаны специальные технологии изготовления, поскольку производить их по технологиям средне- и высоконапорных экономически нецелесообразно.

5.2.1. Производство низконапорных труб

Впервые низконапорные трубы в нашей стране были изготовлены в 1937 г. в г. Баку. Трубы диаметром 800–1 500 мм и длиной 4 м изготавливались методом центрифугирования [17].

Низконапорные трубы во многом схожи с безнапорными как по конструкции, так и по технологии изготовления, но всё же требуются дополнительные технологические приёмы для получения их нормативных характеристик. Для изготовления низконапорных труб применяют методы центробежного проката и напорного прессования, а также методы, основанные на использовании напругающих цементов.

В середине XX века австралийская фирма «Рокла» разработала комплект оборудования и технологию изготовления труб на основе шпиндельных центрифуг [19]. Благодаря высокому качеству центробежнопрокатных труб технология получила широкое распространение во всём мире, включая СССР. Такие трубы делают диаметром 600–3 000 мм и длиной до 5 м.

Как отмечалось выше, шпиндельная центрифуга оснащена ведущим валом, на который навешивается форма (рис. 5.17). Вращение от вала (шпинделя) к форме передаётся за счёт сил трения между валом и торцевыми кольцами формы. Процесс формования, как при любом центрифугировании, делится на три этапа. Первоначально распределение бетонной смеси по форме происходит за счёт взаимодействия силы тяжести и центробежной силы при вращении формы со скоростью до 5 об/с. На втором этапе после равномерного распределения бетонной смеси по всей форме скорость вращения центрифуги увеличивают до 8–10 об/с. При этом происходит уплотнение бетонной смеси за счёт трёх факторов. К центробежным силам добавляется прессующее давление, равное по величине массе формы с бетонной смесью. Давление оказывается существенным, поскольку распределяется на малый объём бетона, заключённый между валом и формой в верхней точке вращения последней. Дополнительное уплотнение связано с эффектом микровибрации, возникающей при взаимном смещении отдельных зёрен крупного заполнителя в зоне прессования, что обеспечивает максимально плотную упаковку заполнителей с минимальными прослойками цементного теста. Такое комплексное уплотнение позволяет качественно уплотнять жёсткие бетонные смеси. Третий этап формования связан с уменьшением скорости вращения и торможением формы.

Организация производства центробежнопрокатных труб не отличается от агрегатной схемы производства безнапорных труб за исключением процесса формования, который начинается с подачи подготовленной формы краном или тележкой с подъёмной

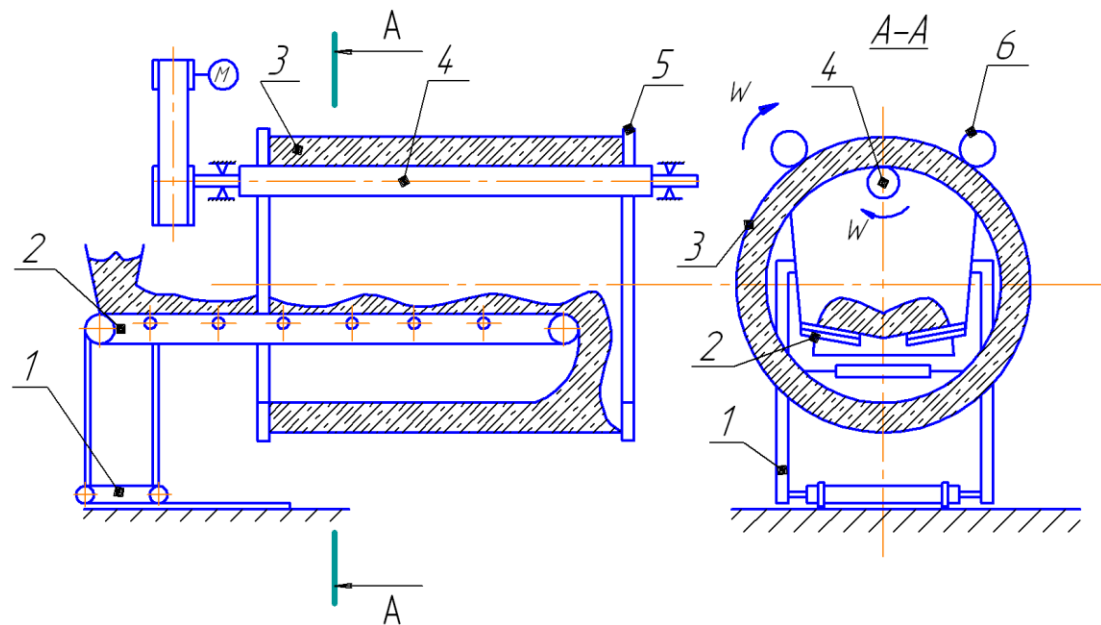


Рис. 5.18. Установка центробежного проката труб:

1 – бетонораздатчик; 2 – транспортер; 3 – форма с бетонной смесью; 4 – шпindelь;
5 – торцевые кольца; 6 – прижимные ролики

платформой на центрифугу. Затем происходит разгон формы и подача внутрь ее жесткой бетонной смеси ($\text{Ж} = 30 \text{ с}$). Для этого используют ленточные или ложковые питатели. Последние предпочтительнее, поскольку обеспечивают одномоментную выгрузку требуемого объема бетонной смеси при повороте ложки. С целью улучшения прилипания практически сухой бетонной смеси к форме её предварительно смачивают водой из шланга. Вначале формируют раструбную и втулочную части трубы, а затем её цилиндрическую часть. Для качественного уплотнения раструба разработана насадка на шпindel, повторяющая форму раструба [19].

В конце формирования бетон ещё раз увлажняют, чтобы снизить его адгезию к металлу шпинделя. Ускоренному торможению формы способствует подача внутрь трубы мелкого песка с крупностью до 0,3 мм.

Общий цикл формирования составляет 20÷25 мин при среднем диаметре центробежнопрокатных труб.

В целом данный метод позволяет организовать производство высококачественных низконапорных труб по одностадийной технологии при наивысшей производительности.

В основе ещё одного метода формирования низконапорных труб лежит прессование за счёт давления, создаваемого бетононасосом [19]. Для перекачивания бетононасосом бетонная смесь должна быть подвижной с осадкой конуса 16÷18 см, но при этом не расслаиваемой, т.к. при перекачивании должна сохраняться однородность смеси. Добиться этого можно только используя суперпластификаторы, разработка которых началась во второй половине XX века в нескольких странах одновременно. В нашей стране наиболее изучен и достаточно широко применяется суперпластификатор С-3 в дозировке 0,8–1,2 % от массы цемента на 1 м³ бетона. Суперпластификаторы позволяют при сохранении высокой удобоукладываемости сократить водосодержание смеси на 15–20 % по сравнению с бездобавочными составами, что обеспечивает формирование плотной структуры бетона, особо ценной для трубчатых конструкций [22].

Для организации производства требуются формы с прочными герметичными замками полуформ, сборно-разборный сердечник и герметичные торцевые кольца. Для перекачивания и прессования бетонной смеси используют бетононасос. Заармированная и соб-

ранная форма краном устанавливается или на пост формования, или сразу на индивидуальные посты тепловой обработки. Предпочтительнее вертикальное формование. Через патрубок на верхнем торцевом кольце от бетононасоса к форме подсоединяют бетоновод диаметром 125–150 мм и закачивают в форму бетонную смесь. После заполнения формы бетонную смесь подпрессовывают в течение 1–2 мин с усилием $0,1 \div 0,3$ МПа за счёт давления, создаваемого бетононасосом. Цикл формования составляет 5–10 мин в зависимости от диаметра трубы. Возможно двух – или трёхстадийная тепловая обработка изделий. После первого этапа извлекают сердечник, после второго снимают форму, а вместо третьего этапа возможно выдерживание в цехе.

Метод напорного прессования обеспечивает высокую производительность при хорошем качестве выпускаемой продукции, а высокая металлоёмкость форм нивелируется отсутствием сложно-го и металлоёмкого формовочного оборудования.

В целом метод напорного прессования наиболее предпочтителен при производстве труб большого диаметра и сложного очертания при их большой востребованности на рынке.

В 1948 г. впервые в мире профессором В.В. Михайловым был разработан напрягающий цемент на основе смеси портландцемента, гипса и высокоосновного гидроалюмината, взятых в строго выверенных пропорциях. В дальнейшем были разработаны различные безусадочные, расширяющиеся и напрягающие цементы у нас в стране и за рубежом с использованием других составляющих.

Эффект самонапряжения в цементе возникает за счёт образования высокомолекулярных соединений из низкомолекулярных со значительным увеличением объёма в структуре цементного камня с достаточной первоначальной прочностью. В качестве расширяющейся добавки чаще всего используют алюминаты и гипс, т.к. за счёт увеличения водосодержания легко регулируется переход низкогидратного моносulфоалюмината кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ в высокогидратный эттрингит $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ с увеличением объёма более чем в четыре раза. Для реализации эффекта расширения вначале у материала должна сформироваться достаточно прочная (более 15 МПа) структура, которая затем за счёт водного твердения будет уплотняться и расширяться, обеспечивая самонапряжение [12]. Исходя из этого технология изготовления конструкций на основе напрягающих цементов включает два этапа: первый – формование изделий из жё-

стких бетонных смесей и их начальная тепловая обработка; второй – водное выдерживание изделий в течение 3–7 сут, когда происходит самонапряжение бетона.

В России серийно выпускаются напрягающие цементы двух марок: НЦ 20 и НЦ 40 – с энергией самонапряжения 2 и 4 МПа соответственно, что достаточно для восприятия внутреннего давления 0,1 и 0,3 МПа, нормируемого для низконапорных труб. Основным недостатком напрягающих цементов являются очень короткие сроки схватывания (начало схватывания – не ранее 20 мин, конец – не позднее 4 ч), поэтому их применение ограничивается технологиями с коротким циклом формования. Кроме того, у бетонных смесей должно быть минимально возможное водосодержание, т.е. $В/Ц < 0,4$. С учётом вышесказанного изготовление низконапорных труб на напрягающих цементах возможно методом центробежного проката, радиального или напорного прессования. Указанной технологией предусматривается водное хранение изделий после тепловой обработки в течение 3–7 суток в специальных ваннах.

Для организации промышленного производства низконапорных труб на напрягающих цементах должны быть решены проблемы быстрого схватывания цементов и стабильности самонапряжения.

5.2.2. Производство средненапорных труб

Шведской фирмой «Сентаб» в середине XX в. была разработана одностадийная технология изготовления напорных труб классов Н5 и Н10. В СССР по лицензии были построены четыре завода, которые до сих пор успешно работают, как и аналогичные линии по всему миру. Разработанная технология виброгидропрессования (ВГП) оказалась столь удачной, что за 50 лет не претерпела существенных изменений [20].

По этой технологии изготавливают трубы, как правило рас-
трубные, диаметром 500÷1 600 мм длиной 5 м (рис. 5.19). Трубы армируют продольной преднапряжённой арматурой $\varnothing$ 5 мм и спиральным каркасом из проволоки диаметром 3–5 мм. Спиральный каркас изготавливают на навивочном станке, на планшайбе и диске которого закрепляют металлические планки шириной 30 мм и толщиной 1 мм вместо продольных стержней спирального каркаса.

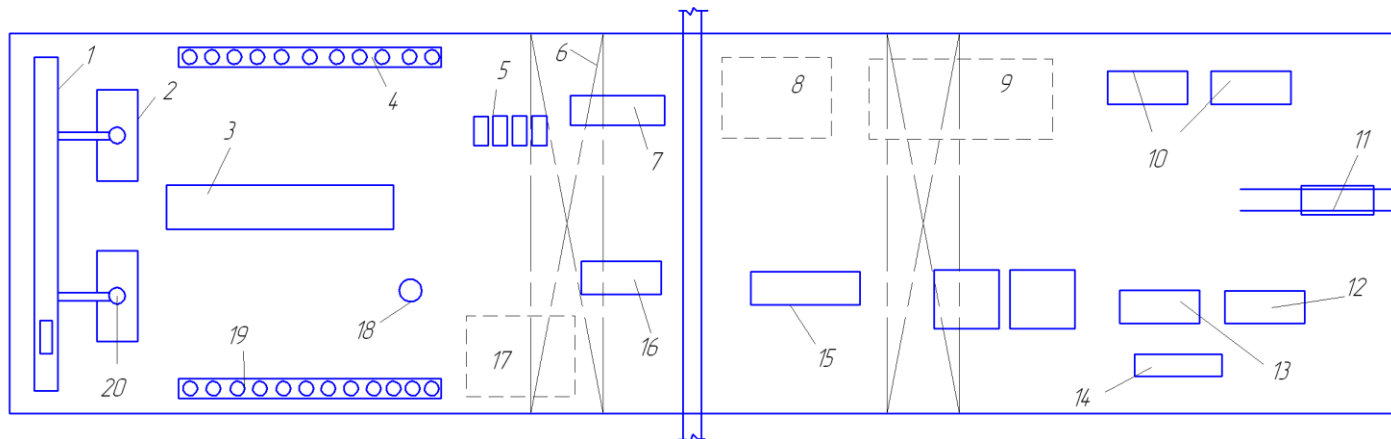


Рис. 5.19. Технологическая схема производства напорных труб методом виброгидропрессования:

1 – мостовой бетоноукладчик с передвижными бункерами; 2 – виброплощадка; 3 – крепежные приспособления для наружных форм; 4 – посты гидропрессования и тепловой обработки; 5 – подставка для нижней полуформы; 6 – мостовой кран; 7 – стеллаж-контователь; 8, 17 – хранение арматурных каркасов; 9 – площадка выдержки изделий; 10 – машины для шлифовки раструбов; 11 – самоходная тележка; 12 – установка для гидроиспытания труб 6873/16 СА; 13 – установка для гидроиспытания труб СМЖ-97А; 14 – стенд для пропитки напорных труб натриевым стеклом; 15, 16 – станок для изготовления спирально-перекрестных каркасов; 18 – установка для приготовления мыльной эмульсии с бачком распылителем; 19 – прижимное приспособление для наружных форм; 20 – бетоноукладчик

На планках с шагом 12 мм выштампованы крючки, под них заводится навиваемая арматура и фиксируется их загибом. Форма состоит из двух полуформ, соединяемых с помощью замков с тарированными пружинами, допускающими некоторое ее раскрытие. Причём величина раскрытия формы соответствует давлению, создаваемому внутри нее. После чистки, смазки и установки спирального каркаса форма собирается, а продольные швы проклеиваются тканью, через которую может отжиматься вода из бетонной смеси в процессе прессования. Далее на форме закрепляются торцевые кольца с прорезями под продольную арматуру. Внутри формы подают продольную арматуру с временными анкерами и поочередно гидродомкратом натягивают отдельные стержни, фиксируя их на торцевых кольцах. Собранный форму краном надевают на сердечник, который, в свою очередь, состоит из двух металлических соосных цилиндров: внутреннего цельного и внешнего перфорированного. Зазор между цилиндрами – 6–10 мм. Поверх металлического сердечника надет резиновый чехол толщиной 15 мм. Собранный форму краном устанавливают на виброплощадку поста формовки, где на ней дополнительно закрепляют навесные вибраторы.

Бетонную смесь с осадкой конуса $2 \div 3$ см подают в форму через загрузочный конус. Время формования в зависимости от диаметра трубы составляет $30 \div 70$ мин. После формования с формы снимают вибраторы, а верхний ее торец закрывают уплотняющим кольцом. Форму краном переносят на посты гидропрессования и тепловой обработки, сверху закрывают брезентовым чехлом. В зазор между цилиндрами сердечника начинают подавать горячую воду с температурой $60 \div 70$ °С, доводя через 30 мин давление до $2,5 \div 3,5$ МПа в зависимости от диаметра и класса напорности трубы. За счёт создаваемого давления вода растягивает резиновый чехол, равномерно прессуя бетонную смесь в стенке трубы. Величина прессующего давления в бетоне контролируется по ширине раскрытия швов формы. В процессе прессования происходит не только уплотнение бетонной смеси, но и объёмное растяжение спирального арматурного каркаса. Дополнительно через проклеенные швы формы часть воды из бетонной смеси отжимается, снижая начальное В/Ц. После установления расчетного давления внутрь сердечника и под брезентовый чехол подают пар. Тепловая

обработка продолжается $5 \div 7$ ч, после чего давление в сердечнике выдерживается ещё 3 ч. Затем воду из сердечника откачивают, и создаваемое разрежение обеспечивает распалубку внутренней поверхности трубы, т.к. резиновый чехол притягивается к металлическому сердечнику.

С поста гидропрессования форму краном снимают и на посту распалубки вынимают сердечник. К следующему циклу резиновый чехол сердечника чистят и моют мыльным раствором. Форму с изделием кантуют в горизонтальное положение, а затем обрезают временные анкера на продольной арматуре, тем самым передавая напряжение на бетон. Далее снимают торцевые кольца и распалубливают изделие. Форму готовят к следующему циклу, а трубу отправляют на пост выдерживания.

Все трубы проходят операцию по шлифовке раструба. Поскольку его рабочая поверхность формируется резиновым чехлом, то идеальной геометрии при этом добиться не удастся. Также трубы подвергаются гидравлическим испытаниям под давлением, на $20 \div 30$ % превышающим номинальное проектное для каждого класса напорности труб.

Изготовление средненапорных труб диаметром до 1000 мм методом виброгидропрессования является наиболее экономичным благодаря высокой производительности, минимальным производственным площадям и одностадийной тепловой обработке. Несмотря на сложность и уникальность используемых в производстве форм, метод вибропрессования остаётся самым широко распространённым во всём мире при производстве средненапорных труб [20].

5.2.3. Изготовление высоконапорных труб

Обеспечить для труб класс напорности Н15 и Н20 возможно только за счёт металлического сердечника, запрессованного внутри бетонных слоёв. Именно такие напорные трубы были впервые изготовлены во Франции в 1894 году [18]. С тех пор совершенствовались технология и оборудование, но конструкция труб, в которых герметичность обеспечивается сварным металлическим сердечником, осталась неизменной. С середины прошлого века производство таких труб освоено в нашей стране. Серийно выпускаются трубы диаметром $250 \div 2\,400$ мм и длиной до 10 м,

а при необходимости возможно изготовление труб диаметром до 8 м. Для соединения труб чаще всего используют раструбный стык (рис. 5.20).

По конструкции трубы трёхслойные. Внутренний металлический сердечник изготавливают из полосовой стали толщиной $1,5 \div 2,0$ мм. Для соединения труб к цилиндрической части сердечника приваривают втулочное и раструбное кольца, изготавливаемые из полосовой стали толщиной 4 мм. В качестве преднапряжённой спиральной арматуры используют проволоку классов В_p600 ÷ В_p1 400 диаметром $5 \div 8$ мм. Внутренний слой трубы толщиной $14 \div 18$ мм и внешний толщиной $20 \div 26$ мм изготавливают из мелкозернистого бетона состава Ц : П = 1 : 2 ÷ 1 : 3. Для бетона применяют цемент марки не ниже М 400 и песок не крупнее 5 мм.

В нашей стране наибольшее распространение получила трёхстадийная технология производства напорных труб со стальным сердечником по агрегатной схеме (рис. 5.21). Эта технология предполагает: на первом этапе – изготовление стального сердечника; на втором – формование внутреннего слоя бетона и его тепловую обработку; на третьем – навивку преднапряжённой спиральной арматуры на сердечник и нанесение наружного слоя бетона методом торкретирования. Каждый из этапов производства может быть размещён в отдельном технологическом пролёте [21].

Изготовление стального сердечника на первом этапе производства является важнейшим технологическим переделом, поскольку герметичность напорной трубы обеспечивается именно стальным сердечником. Цилиндрическую часть сердечника изготавливают на трубосварочном станке из полосовой стали шириной $320 \div 500$ мм. Станок оснащён тянущими и формующими роликами, которые закручивают стальную полосу в спираль. Сварку спирального шва токами высокой частоты выполняют со скоростью $15 \div 30$ м / мин. Обрезка мерного цилиндра осуществляется установкой воздушно-плазменной резки или дисковой пилой с зачисткой заусениц.

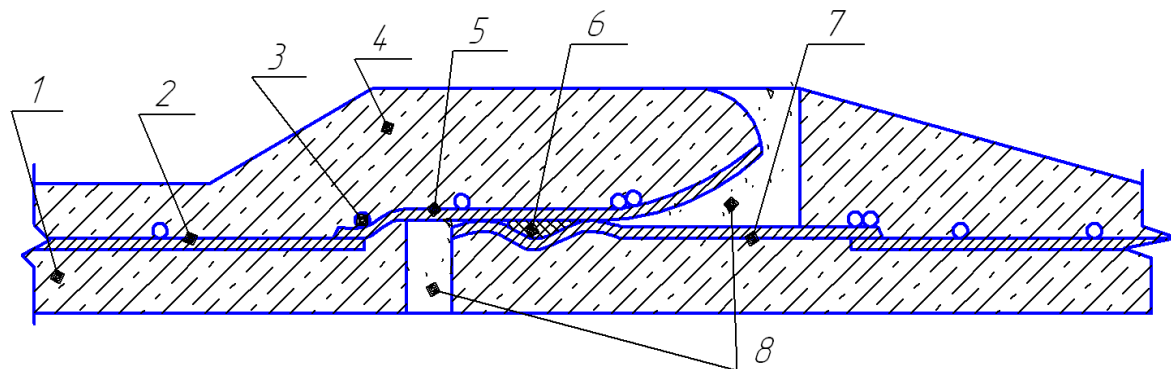


Рис. 5.20. Гибкий стык напорных раструбных труб с металлическим сердечником:

- 1 – внутренний слой бетона; 2 – цилиндрическая часть металлического сердечника; 3 – спиральная преднапряженная арматура;
 4 – наружный слой бетона; 5 – раструбное кольцо металлического сердечника; 6 – резиновое кольцо;
 7 – втулочное кольцо металлического сердечника; 8 – цементно-песчаный раствор

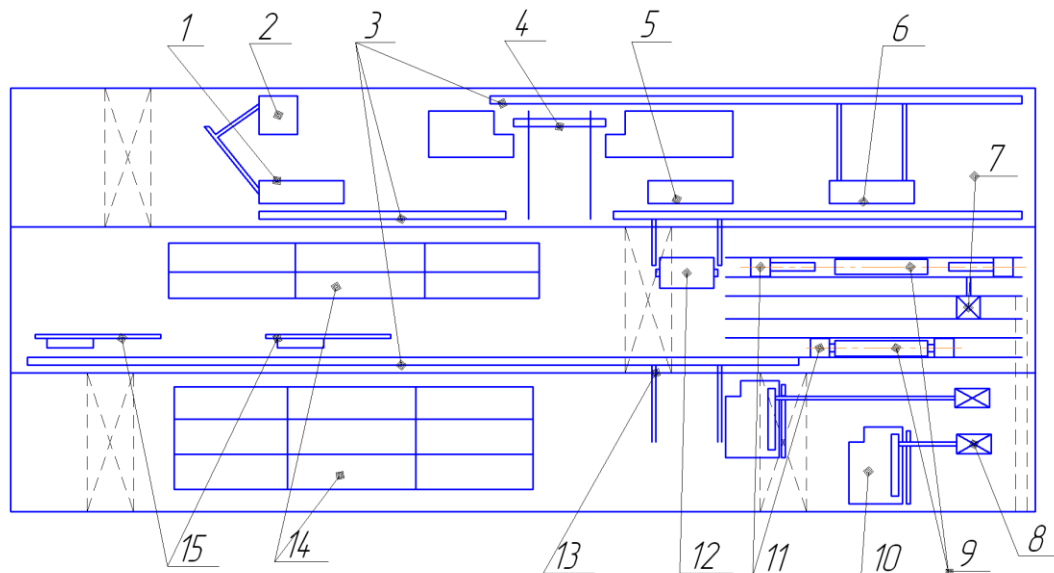


Рис. 5.21. Технологическая схема производства труб со стальным сердечником:

- 1 – трубосварочный станок; 2 – пост изготовления колец; 3 – конвейеры; 4 – установка сборки и сварки соединительных колец с сердечником; 5 – установка для обезжиривания; 6 – стенд гидравлических испытаний; 7 – бетонораздатчик; 8 – бетоносмесители; 9 – центрифуга; 10 – установка для нанесения защитного слоя (метатель); 11 – ложковый питатель; 12 – пост установки бандажей; 13 – транспортно-передающие устройства; 14 – камеры ТВО; 15 – навивочный станок

Соединительные кольца изготавливают из полосовой стали, отрезая полосы нужной длины на пресс-ножницах. Отрезки вальцуют в кольцо на трёхвалковой гибочной машине и сваривают на контактно-стыковой машине методом непрерывного оплавления или полуавтоматом в среде углекислого газа. Зачистку сварного шва (удаление грата) выполняют на поперечно-строгальном станке или вручную с помощью шлифовальной машины. Профилирование колец на зигмашине и калибровка штампом на прессе позволяют получить соединительные кольца требуемой конфигурации.

Для защиты от коррозии на внутренней стороне раструбного кольца и внешней стороне втулочного выполняют металлизацию. Вначале в дробеструйном аппарате указанные поверхности обрабатывают чугунной крошкой диаметром 1–3 мм с расстояния 80–100 мм под давлением сжатого воздуха $0,5 \div 0,6$ МПа. Обработка ведётся до получения шероховатой и матовой поверхности. Затем кольцо перемещают в камеру металлизации, где на обработанную поверхность наносят слой расплавленного цинка или алюминия с расстояния 60–80 мм под давлением сжатого воздуха $0,5 \div 0,6$ МПа. Толщина напыляемого слоя составляет 100–120 мкм. Готовые соединительные кольца отправляют на сборку.

Для центровки и сборки цилиндрической части сердечника и соединительных колец используют специальный стенд, который оснащён двумя планшайбами и полуавтоматами для сварки в среде углекислого газа. Кольца закрепляют на планшайбах и добиваются их соосности с цилиндрическим сердечником. К сварочным головкам подают сварочную проволоку и за счёт вращения планшайб обеспечивают круговое приваривание колец к сердечнику. Чтобы прочность сцепления металлического сердечника и слоёв бетона была достаточной, необходимо провести обезжиривание сердечника в моечной машине. Вначале сердечник обрабатывают горячим мыльным раствором в течение трех минут, а затем промывают водой с температурой 50–60 °С около двух минут. Качество обезжиривания проверяют 5 %-ным водным раствором медного купороса, при нанесении которого на сердечнике через 5–10 с должно появляться медное пятно. Обезжиренный сердечник отправляют на обязательные гидравлические испытания. Между двумя торцевыми заглушками с резиновыми прокладками зажимают сердечник, внутрь которого со скоростью 0,3 МПа в минуту подают воду под давлением до 1,5 МПа в зависимости от напорности трубы.

Номинальное давление выдерживают в течение двух минут. При этом на поверхности сердечника не должно быть течи или мокрых пятен. Если обнаружены дефекты сварки, то воду из сердечника откачивают и вручную заваривают дефект. Затем сердечник вновь подвергают гидроиспытаниям. На этом заканчивается первый этап изготовления напорных труб по трёхстадийной технологии.

На втором этапе готовый металлический сердечник подаётся на пост центрифугирования для изготовления внутреннего слоя бетона. Вначале на сердечник во избежание деформаций надевают бандажи, которые будут опираться на ремни центрифуги. Для загрузки бетонной смеси в сердечник используют ложковые питатели, позволяющие производить объёмное дозирование смеси в ложке и одномоментную ее выгрузку в форму при повороте ложки на 180° . Загрузка смеси внутрь сердечника производится одним питателем при длине изготавливаемой трубы до 5 м и двумя с противоположных сторон трубы при длине до 10 м. Мелкозернистая бетонная смесь состава Ц : П = 1,0 : 2,5 ÷ 1,0 : 3,0 и подвижностью 7–10 см по погружению эталонного конуса загружается в сердечник, установленный на ременную центрифугу. Загрузка и распределение бетонной смеси по сердечнику осуществляется 4–5 мин при скорости вращения 90–220 об/мин в зависимости от диаметра трубы. Уплотнение смеси производят на скорости вращения до 900 об/мин в течение 4–6 мин. После остановки центрифуги производят слив шлама и контролируют толщину внутреннего слоя бетона, прокалывая его с помощью градуированной иглы. Допустимое отклонение по толщине слоя составляет + 3 мм. Далее сердечник с внутренним бетонным слоем отправляют на первую тепловую обработку в ямные камеры. Рекомендуемый режим тепловой обработки: предварительная выдержка – 2 ч; подъём температуры до 65°C – $2 \div 3$ ч; изотермическая выдержка при 65°C – 8 ÷ 10 ч; охлаждение – 2 ч. Возможны корректировки режима в зависимости от вида используемого цемента. После тепловой обработки сердечники извлекают из камеры, снимают бандажи, установленные перед центрифугированием, и контролируют качество сцепления стального сердечника с бетоном. Если при простукивании лёгким молотком по сердечнику появляется глухой «бухтящий» звук, то это значит, что сцепление между сердечником и бетоном

отсутствует, и изделие бракуют. Этим завершается второй этап изготовления напорных труб.

Третий этап производства труб начинается с наливки на сердечник спиральной арматуры. Навивку осуществляют на арматурно-навивочном станке, в планшайбах которого закрепляют сердечник. Конец навиваемой проволоки приваривают к соединительному (обычно втулочному) кольцу, и за счёт вращения сердечника проволока навивается с усилием 120 МПа. Второй конец проволоки в конце наливки приваривают к раструбному кольцу. Во избежание прожогов приварить проволоку к стальному цилиндру сердечника запрещается. Под навиваемую проволоку напыляют цементную пасту с $V/C = 0,5 \div 0,8$ для предотвращения проскальзывания проволоки по сердечнику. После наливки сердечник снимают со станка и отправляют в накопитель поста нанесения наружного слоя бетона.

Для нанесения наружного слоя бетона на сердечник разные фирмы и заводы используют разные конструкции: растворонасосы с насадками, виброрейки, пневматические и механические метатели. Опыт эксплуатации выявил преимущества последних. Основным рабочим органом механического метателя (рис. 5.22) являются гладкие обрезающие роторы, которые обжимают бетонную смесь и за счёт встречного движения придают ей скорость до 40 м/с. Зазор между роторами составляет более 1 мм. Факел бетонной смеси попадает на вращающийся со скоростью 20–70 об/мин сердечник, который дополнительно перемещается в продольном направлении со скоростью 2–6 м/мин. Длина факела бетонной смеси не должна превышать 300 мм, а его ось на 20–25 мм смещается относительно оси сердечника в сторону, противоположную вращению. Для подбора отскока, объём которого может достигать 30 % от объёма наносимой бетонной смеси, метатель оборудован транспортёром и элеватором, подающим отскок в шнековый смеситель, где он перемешивается с заранее приготовленной бетонной смесью. Бетонная смесь для наружного слоя состава $C : П = 1 : 2 \div 1,0 : 2,5$ должна иметь повышенную жёсткость, поэтому рекомендуемое V/C должно соответствовать $1,0 \div 1,1$ нормальной густоты цементного теста. Чтобы уменьшить отскок практически сухой смеси, на сердечник из распылителя наносят цементное молоко с $V/C < 0,8$.

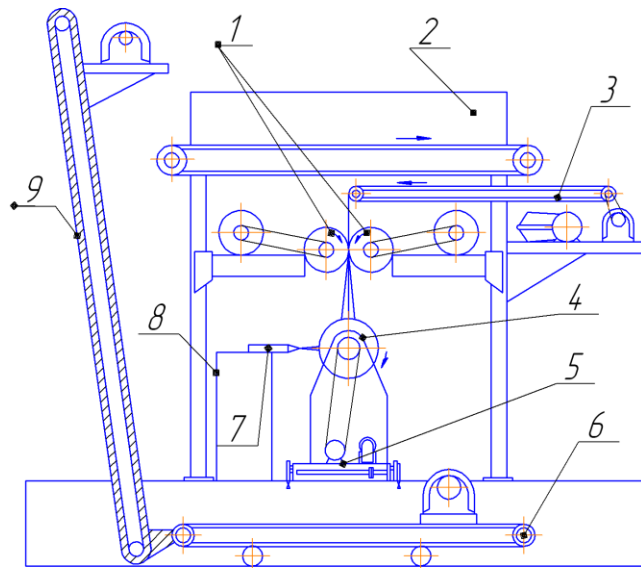


Рис. 5.22. Механический метатель:

1 – роторы; 2 – шнековый смеситель; 3 – транспортер подачи бетонной смеси; 4 – сердечник трубы;
 5 – механизм продольного перемещения трубы; 6 – питатель подачи отскока; 7 – распылитель цементного молока;
 8 – турбулентный смеситель для приготовления цементного молока; 9 – элеватор отскока

Торкрет-бетон наносится на сердечник полосой, ширина которой составляет около 200 мм, толщина – 2–3 мм, т.е. наружный слой трубы формируется из 5–8 последовательно наносимых друг на друга слоёв. На свежееотформованный наружный слой бетона наносят цементное молоко с В/Ц < 0,8. Общее время нанесения наружного слоя составляет 5–10 мин в зависимости от диаметра и длины трубы.

Толщину наружного слоя трубы контролируют тарированной иглой в 5–7 точках по длине трубы. Допустимые отклонения по толщине не должны превышать + 3 мм. Затем трубу отправляют в ямные камеры, на вторую тепловую обработку, режим которой аналогичен режиму тепловой обработки внутреннего бетонного слоя трубы.

Завершает процесс производства контроль качества основных параметров напорных труб: точности геометрических размеров, прочности и трещиностойкости, водонепроницаемости с помощью гидравлических испытаний и т.д.

Для повышения коррозионной стойкости и водонепроницаемости напорных труб рекомендуется пропитывать внешний бетонный слой в растворе петролатума. Пропитку выполняют в специальных ваннах, заполненных петролатумом с температурой 80–90 °С, в течение двух часов. Перед погружением в ванну внутреннюю полость трубы герметизируют торцевыми заглушками. После пропитки водопоглощение бетона снижается с 10–12 % до 2–3 % при глубине пропитки 10–18 мм.

Несмотря на высокую трудоёмкость только трёхстадийная технология обеспечивает производство высоконапорных труб при минимальной материалоёмкости. К существенным достоинствам технологии можно отнести возможность производить трубы длиной до 10 м. Длительная эксплуатация трубопроводов из труб, изготовленных по трёхстадийной технологии, доказала оптимальность принятых конструктивных и технологических решений [21].

Ограниченное распространение получили одно- и двухстадийные технологии производства напорных труб с металлическим сердечником. Одностадийная технология предполагает формование труб в вертикальном положении методом вибрации. Форма должна состоять из разборных внутренней и наружной частей, между которыми при сборке фиксируются стальной сердечник и спиральный каркас. В процессе формования вначале заполняется

бетонной смесью зазор между сердечником и внутренней частью формы, а затем наружная часть трубы. Используются подвижные бетонные смеси с $OK = 2 \div 4$ см с расходом цемента более 500 кг/м^3 . Общая толщина стенки трубы, из-за необходимости укладывать бетонную смесь в узкий и высокий зазор, достигает 15 и более сантиметров. Таким способом изготавливают трубы большого диаметра, длиной до 5 м с классом напорности Н 3, Н 5. Обеспечить более высокий класс труб при одностадийной технологии не удаётся, поскольку спиральный каркас не является преднапряжённым, а бетон из-за высокой подвижности имеет повышенную пористость [18].

Двухстадийная технология изготовления напорных труб со стальным сердечником позволяет повысить их напорность до класса Н 10 и сократить толщину стенок до 10 см. Технология предусматривает применение форм, состоящих только из наружных полуформ. В процессе сборки формы в ней с фиксированным зазором закрепляют стальной сердечник с навитой спиральной арматурой. Внутренний бетонный слой труб формуют на центрифуге с последующей тепловой обработкой. Наружный слой формуют в вертикальном положении, закрепляя на форме навесные вибраторы. После второй тепловой обработки трубы распалубливают и отправляют на отделку и испытания. Их повышенная материалоемкость при среднем классе напорности делает двухстадийную технологию неконкурентоспособной по сравнению с трёхстадийной.

В целом производство напорных труб со стальным сердечником освоено во многих странах мира, включая США, Францию, Германию, Голландию и т.д. Распространение получили одно-, двух- и трёхстадийные технологии изготовления, но, как и в России, превалирует трёхстадийная технология благодаря высокому качеству труб и их низкой материалоемкости [21].

Для снижения металлоёмкости разработана технология изготовления напорных труб классов Н 0,5; Н 1,0; Н 1,5 по двухстадийной схеме (рис. 5.23). На первом этапе изготавливают низконапорную или безнапорную трубу любым из известных способов: центрифугирование, виброформование, радиальное прессование или центробежный прокат. При этом продольная арматура может быть преднапряжённой с фиксацией на торцевые кольца внешней формы.

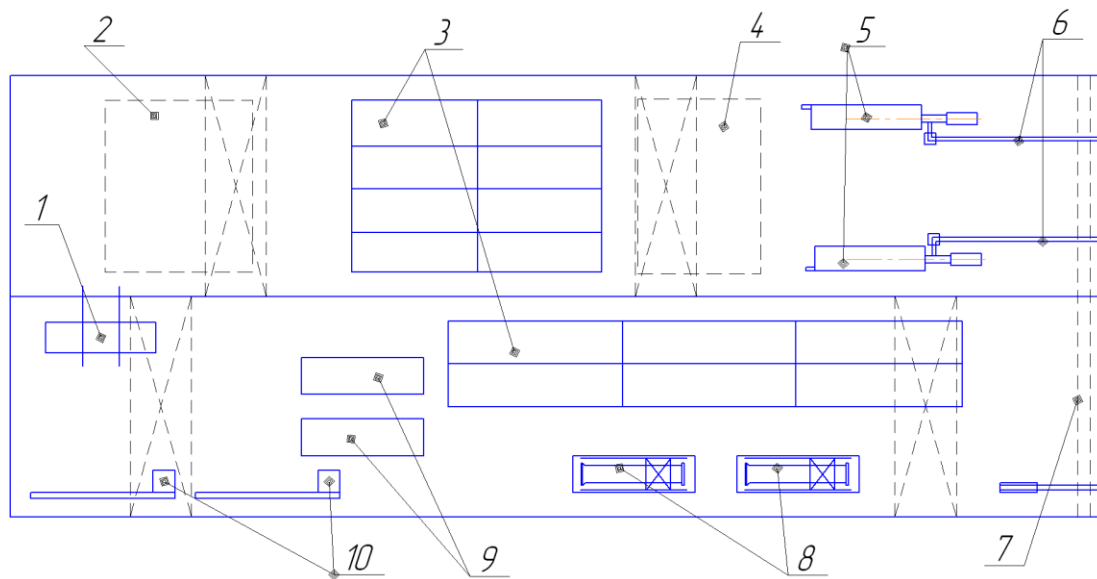


Рис. 5.23. Технологическая схема завода по производству
предварительно напряженных центробежно-прокатных труб:

- 1 – передаточная тележка; 2 – пост распалубки и сборки форм; 3 – камеры ТВО; 4 – пост отделки трубы;
5 – центробежно-прокатная машина (шпиндельная центрифуга); 6 – транспортеры подачи бетонной смеси;
7 – линия подачи бетонной смеси; 8 – торкрет-машина; 9 – стенд для гидравлических испытаний;
10 – проволочно-навивочный станок

После формования и первой стадии тепловой обработки трубы распалубливаются и отправляются на навивочные станки. При навивке арматуры на железобетонный сердечник ее напряжение осуществляется электротермомеханическим способом. Затем поверхность спиральной арматуры на торкрет-машине на сердечник наносят защитный слой мелкозернистого бетона. После второй тепловой обработки трубу испытывают и отправляют потребителю. Толщина стенки таких труб составляет 10–15 см, что в 2÷3 раза превышает толщину стенки труб со стальным сердечником, а их повышенная в связи с этим материалоемкость, при существенной трудоёмкости, не способствует широкому распространению данной технологии [17].

Многолетний опыт производства и эксплуатации железобетонных труб показал их экономичность и конкурентоспособность по сравнению с металлическими и полимерными. Поэтому совершенствование технологии и оборудования для производства железобетонных труб остаётся актуальной и практически значимой задачей.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятий «безнапорные, и «напорные» трубы.
2. Перечислите общие особенности технологических параметров изготовления трубчатых конструкций.
3. Каковы существенные особенности центрифугированных труб?
4. Перечислите преимущества виброформованных трубчатых конструкций.
5. Обоснуйте причину широкого распространения метода радиального прессования безнапорных труб.
6. Каковы существенные особенности изготовления напорных труб?
7. Перечислите преимущества виброгидропрессованных напорных труб по сравнению с трубами, изготовленными по трехстадийной технологии.

Литература

1. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1984. – 672 с.
2. Воронцов М.П. Конвейерное производство сборных железобетонных изделий: учеб. пособие. – Л., 1980. – 88 с.
3. Граник Ю.Г. Заводское производство элементов полносборных домов. – М.: Стройиздат, 1984. – 221 с.
4. Основы технологического проектирования заводов железобетонных изделий / под ред. Л.Н. Попова. – М.: Высш. шк., 1988. – 312 с.
5. Справочник по производству сборных железобетонных изделий / под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королёва. – М.: Стройиздат, 1989. – 447 с.
6. Стефанов Б.В., Русакова Н.Г., Волянский А.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. – Киев: Высш. шк., 1982. – 416 с.
7. Технология железобетонных изделий в примерах и задачах / под ред. Л.Н. Попова. – М.: Высш. шк., 1987. – 192 с.
8. Цителаури Г.И. Проектирование предприятий сборного железобетона. – М.: Высш. шк., 1986. – 312 с.
9. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Влияние органоминеральных модификаторов бетона серии «МБ» на их эффективность // Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 11–15.
10. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона (ОНТП-07-85) / Минстройматериалов СССР. – М., 1985. – 52 с.
11. Самарин Ю.А., Стопич С.И., Карнаухов Ю.П. Черный сульфатный щелок – пластифицирующая добавка в бетоны / // Строительная индустрия для энергетического строительства. – М., 1981. – Вып.7. – С. 17–22.
12. Рамачандран В. Наука о бетоне: Физико-химическое бетоноведение / Р. Фельдман, Дж. Бодуэн : пер. с англ. Т.И. Розенберг, Ю.Б. Ратиновой / под ред. В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с., ил.
13. Садович М.А., Гершанович Г.Л., Лемперт В.Г. Опыт Братскгэс-строя в исследовании и внедрении новых технологий использования промышленных отходов / – Братск: БРИИ, 1996. – С. 202–210.
14. Ли В.А. Зарубежное оборудование для непрерывного формования железобетонных конструкций. Обзорная информация. – М.: ЦНИИ-ТЭстроймаш, 1978. – 55 с.
15. Королев К.М., Малинина Л.Л. Производство сборного железобетона из предварительно разогретых паром смесей. Обзорная информация / – М.: ВНИИЭСМ, 1978. – 64 с.
16. Макаров П.А., Цейтлин Е.С. Формовочные установки для произ-

водства многопустотных железобетонных изделий. – М.: МАШГИЗ, 1961. – 172 с.

17. Тевелёв Ю.А. Железобетонные трубы. Проектирование и изготовление: учеб. пособие. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов. 2004. – 328 с.

18. Иванов Г.С., Дмитриев А.И., Грайфер А.Г., Маврин К.А. Технология производства железобетонных напорных труб со стальным цилиндром. – М.: ВНИИЭСМ, 1977. – 75 с.

19. Ционский А.Л., Минибаев А.К., Шевеленко А.Г. и др. Технология производства низконапорных труб в Бурундайском производственном объединении «Ремстройтехника» / Сер.3, Промышленность сборного железобетона: обзор. информ. – Вып. 2. – М.: ВНИИЭСМ, 1988. – 70 с.

20. Крикунов О.И., Фролов Е.Г. Современные методы повышения надёжности железобетонных напорных труб и трубопроводов / Сер. 3. Промышленность сборного железобетона. Аналитический обзор. – М.: ВНИИЭСМ, 1990. – 44 с.

21. Технология изготовления железобетонных труб со стальным сердечником: Справочное пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1990. – 40 с.

22. Баженов Ю.М. Алимов Л.А. , Воронин В.В. и др. Технология бетона строительных изделий и конструкций. – М.: АСВ, 2006. – 356 с.

23. Никулин А.П, Шмитько Е.И. Проектирование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учеб. пособие. – СПб.: Проспект Науки, 2006. – 352 с.

24. ГОСТ 6482-88 Трубы железобетонные безнапорные. – М: Изд-во стандартов, 1989. – 78 с.

25. Стройконсультант: Информационная система Госстроя России по нормативно-технической документации для строительства. – М.: Госстрой России, 2004.

26. <http://www.vibropress.biz>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Технологические схемы изготовления ограждающих конструкций.....	5
2. Технологические схемы производства внутренних стен перегородок и плит перекрытий.....	16
3. Технологические схемы производства плит перекрытий	33
3.1. Многopустотные плиты перекрытий	33
3.2. Ребристые плиты перекрытий.....	53
4. Технологические схемы изготовления объёмных элементов.....	60
5. Технологические схемы изготовления трубчатых конструкций.....	78
5.1. Безнапорные трубы.....	80
5.1.1. Изготовление безнапорных труб методом центрифугирования	85
5.1.2. Виброформование трубчатых конструкций.....	94
5.1.3. Изготовление труб методом радиального прессования	102
5.2. Напорные трубы.....	106
5.2.1. Производство низконапорных труб.....	106
5.2.2. Производство средненапорных труб.....	111
5.2.3. Изготовление высоконапорных труб.....	114
Литература.....	126

Шляхтина Татьяна Федоровна

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЖИЛИЩНОГО
И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Учебное пособие

Редактор Устюжина Т.Г., компьютерная верстка Кузнецова А.С

Подписано в печать 17.09.2010

Формат 60 × 84 ¹/₁₆

Печать трафаретная.

Уч.-изд. л. 8,0. Усл. печ. л. 8,0.

Тираж экз. Заказ

Отпечатано в издательстве ГОУ ВПО «БрГУ»
665709, Братск, ул. Макаренко, 40