

Министерство науки и высшего образования РФ  
Южно-Уральский государственный университет (НИУ)  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Строительные материалы и изделия»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН	ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Рецензент	и.о. заведующий кафедрой
/ /	/А.А. Орлов/
« » 2019 г.	« » 2019 г.

**Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе**  
**08.03.01.2019.236.00.00.ПЗ**

**Производство железобетонных преднапряженных виброгидропрессованных труб на заводе железобетонных конструкций «Уральский», г.Екатеринбург.**

Консультанты:	Руководитель проекта
Технологический раздел	
/С.Н. Погорелов /	/С.Н. Погорелов/
« » 2019 г.	« » 2019 г.
Механическое оборудование	
/М.Д. Бутакова/	Автор проекта
« » 2019 г.	студент группы АС –448
Теплотехника	
/С.Н. Погорелов /	/С.Т. Маматалиев/
« » 2019 г.	« » 2019 г.
Автоматика	
/В.А. Абызов/	Нормоконтролёр
« » 2019 г.	/А.А. Курсанова/
Организация	« » 2019 г.
/С.Н. Погорелов/	
« » 2019 г.	
Экономика	
/С.Н. Погорелов /	
« » 2019 г.	
БЖД	
/С.Н. Погорелов /	
« » 2019 г.	

Челябинск  
2019

## АННОТАЦИЯ

Маматалиев С.Т. Производство железобетонных преднапряженных виброгидропрессованных труб на заводе железобетонных конструкций «Уральский», г. Екатеринбург: ЮУрГУ, Стр.мат. и изд., 2019, 99с., 7 ил., 22 табл.

Библиографический список – 42 наименования.

В выпускной квалификационной работе рассмотрена технология производства напорных железобетонных преднапряженных виброгидропрессованных труб ТН80-II, разработана структура производственного процесса, проведен подбор механического оборудования, произведены расчеты состава бетона, режима тепловой обработки и технико-экономических показателей.

					<i>08.03.01.2019.236.00.00.ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Дата</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Производство железобетонных преднапряженных виброгидропрессованных труб на заводе ЖБК «Уральский», г.Екатеринбург	<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Маматалиев С.Т.</i>				<i>ПЗ</i>	<i>4</i>	<i>99</i>
<i>Проверил</i>		<i>Погорелов С.Н.</i>				<i>ЮУрГУ</i> <i>Кафедра «Строительные материалы и изделия»</i>		
<i>Н.контр.</i>		<i>Кирсанова А.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Орлов А.А.</i>						

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЯЕМОГО ИЗДЕЛИЯ.....	10
1.1 Характеристика изделия.....	10
1.2 Основные параметры и размеры .....	11
1.3 Технические требования .....	13
1.4 Комплектность .....	17
1.5 Правила приемки.....	17
1.6 Методы контроля и испытаний .....	19
1.7 Маркировка, транспортирование и хранение .....	21
2 ВЫБОР СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА.....	23
3 ОПИСАНИЕ ТИПОВОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА.....	25
4 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ....	29
5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ.....	31
5.1 Режим работы предприятия .....	31
5.2 Технологические расчёты при поточно – агрегатном способе производства железобетонных изделий .....	31
5.3 Расчет состава бетона .....	32
5.4 Подбор и обоснование режима тепловой обработки .....	36
5.5 Теплотехнический расчет.....	37
Материальный баланс формы.....	38
Тепловой баланс формы.....	39
Приход тепла .....	40
Расход тепла .....	42
5.6 Определение и подбор технологического оборудования .....	44
5.7 Определение количества технологических постов .....	59
5.8 Определение площади одной технологической линии.....	62
5.9 Определение числа работающих.....	64
6 РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА .....	67

7 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ .....	71
7.1 Материальный баланс формы.....	72
7.2 Тепловой баланс формы.....	73
7.3 Приход тепла .....	74
7.4 Расход тепла .....	76
8 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	79
8.1 Автоматическая стабилизация гидростатического давления.....	79
9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СКЛАДА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ.....	82
10 КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ.....	83
11. ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	85
12. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ.....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	95
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	96

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире бетон и железобетон являются основными конструкционными материалами, занимая лидирующие места в мировом объеме производства строительной продукции (более 2млрд. м<sup>3</sup> в год). И это благодаря высокому уровню как технических, так и экономических показателей данных строительных материалов. Железобетон заслуженно получил звание «материала XX века», и можно утверждать, что и в текущем XXI веке он будет занимать основное место в мировом строительстве. Это утверждение сложно переоценить, ведь применение бетона и железобетона дало толчок для дальнейшего развития технологии строительства.

Для снижения материалоемкости и металлоемкости изделий, снижения энергозатрат, повышения качества материала стало целесообразным направление развития сборного железобетона – когда процесс изготовления изделий происходит в заводских условиях. При разработке сборного железобетона определяющим становится требование заводской технологичности изделий (масса, форма и размеры изделий, вид армирования, вид применяемого бетона и т.п.). В России в промышленном и гражданском строительстве примерно 90% сборного железобетона составляют типовые изделия. Типовые серии железобетонных изделий содержат: рабочие чертежи и рекомендации по их применению при проектировании, рекомендации и указания по монтажу.

В современной России наблюдается постоянное увеличение объемов жилищного, гражданского и промышленного строительства. А это, в свою очередь, является причиной развития в том числе и инфраструктуры подземных коммуникаций. Сюда входят напорные водопроводные и водоводные системы и промышленно-бытовая, бытовая, ливневая безнапорная канализация, а также трубопроводные системы инженерных коммуникаций. Для их устройства широко применяются железобетонные трубы.

В зависимости от конкретного применения трубы делятся на безнапорные и напорные [8]. Первые используются для транспортировки жидкости самотеком, а

для транспортировки жидкости под давлением применяют напорные железобетонные трубы. Напорные железобетонные трубы имеют весьма широкий спектр применения. Во-первых, такие трубы применяются для внешней канализационной сети, чтобы доставлять бытовые отходы и сточные воды до коллекторов и насосных станций. Это даёт возможность прокладывать подобные трубопроводы достаточно большой протяженности без риска возникновения засоров. Во-вторых, трубы данного типа используются в системах водоснабжения (наружных и внутренних), тепловых сетях централизованного и автономного теплоснабжения. В-третьих, они используются в нефтегазовой промышленности (транспортировка нефти и газа) и т.д.

Изготавливаются трубы железобетонные напорные из тяжелых бетонов высокой прочности, характеризуются повышенной морозостойкостью и водонепроницаемостью. Прочностные характеристики изделий рассчитаны на использование их в условиях засыпки грунта над коммуникациями до двух метров. Такие железобетонные трубы стойки к коррозиям, поэтому даже после долгой эксплуатации их внутренний диаметр остается неизменным. Также они отличаются устойчивостью к внешним воздействиям (перепадам температур, избытку или недостатку влажности и т.д.) и обладают высокой пропускной способностью.

В начале 90-х СССР был среди лидеров в производстве железобетонных труб (порядка 1,8 млн. м<sup>3</sup> в год). Но уже с конца 80-х годов практически было прекращено обновление парка оборудования для их производства. А это значит, что в настоящее время мы имеем морально устаревшие производственные мощности. К текущему моменту технология производства отечественных предприятий уже не соответствует современным требованиям. Следует заметить, что в последние годы всё же наметилась тенденция к техническому перевооружению предприятий по изготовлению железобетонных изделий, в том числе и труб. Но стоит отметить, что в основном это новое оборудование иностранного производства, так как разработки отечественного оборудования так же прекратились в 90-е годы [12].

В наши дни напорные трубы в основном изготавливаются методом виброгидропрессования, который обеспечивает более высокие потребительские свойства изделий в сравнении с другими методами изготовления. Срок службы такой преднапряженной виброгидропрессованной железобетонной трубы – порядка 75 лет. В силу постоянного прогресса в области технологии строительных материалов трубы из железобетона испытывают жесткую конкуренцию со стороны труб из других материалов. Поэтому не во всех областях применения железобетонные трубы одинаково держат уверенные позиции. Но несмотря на это, железобетон, всё же, остается одним из наиболее предпочтительных материалов для производства различных видов труб.

Из всего вышеизложенного делаем вывод о том, что производство преднапряженной виброгидропрессованной железобетонной трубы является перспективным направлением ввиду необходимости ремонтировать, заменять существующие и возводить новые водопроводы.

Таким образом, целью данного дипломного проекта является проектирование производства напорных железобетонных преднапряженных виброгидропрессованных труб типа ТН80–II.

Исходя из цели возможна постановка следующих задач:

- выбор способа производства;
- расчет состава бетона для данного типа трубы;
- разработка структуры производственного процесса;
- подбор механического оборудования;
- подбор и обоснование режима тепловой обработки.

# 1 ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЯЕМОГО ИЗДЕЛИЯ

## 1.1 Характеристика изделия

Железобетонные напорные трубы применяются в формировании внутренних и наружных систем напорных трубопроводов, по которым происходит транспортировка жидкости различного вида. При этом переносимая жидкость должна иметь температуру не выше 40 °С, не должна нести разрушительный характер для железобетона и уплотняющие кольца стыковых соединений трубопроводов. Если же данная жидкость или грунты имеют агрессивную среду по отношению к материалу труб и резиновым кольцам, то требуется предусмотреть их коррозионную защиту.

Эксплуатационные и технические характеристики изделий регулируются ГОСТ 12586.0 и ГОСТ 12586.1 [1, 2]. Изделия, в основной своей массе, производятся методом виброгидропрессования, который обеспечивает более качественные потребительские свойства изделий по сравнению с другими способами изготовления.

Трубы данного вида разделяются по типу используемых сердечников. Они придают изделиям дополнительную прочность. В качестве материалов для сердечников используются полимерные материалы или сталь.

Производятся железобетонные напорные трубы из тяжелых бетонов высокой прочности, которые имеют качество повышенной морозостойкости и водонепроницаемости. Изделиям придают такие прочностные характеристики, которые рассчитаны на применение их в условиях засыпки грунта до 2-х метров. Раструбные железобетонные трубы соединяются с помощью резиновых уплотнительных колец с последующим цементированием стыка.

К преимуществам данных труб относятся малый расход металла, долговечность и устойчивая гладкость внутренних поверхностей, к недостаткам – их большой вес.

Изделия устойчивы к коррозиям, поэтому их внутренний диаметр остается неизменным даже после долго времени использования этих труб. Также следует



отметить устойчивость к внешним воздействиям (перепадам температур, избытку или недостатку влажности и т.д.) и обладают высокой пропускной способностью.

1.2 Основные параметры и размеры

Трубы делятся на несколько групп в зависимости от расчетного внутреннего давления переносимой жидкости. Всего выделяют четыре группы: 0 – на давление 2,0 МПа; I – на 1,5 МПа; II – на 1,0 МПа; III – на 0,5 МПа. Прочностные качества труб подразумевают работу трубопроводов под вышеуказанными давлениями при внешних нагрузках, которые соответствуют средним условиям укладки труб по ГОСТ 22000.

В случае, когда трубы уложены в условиях сниженных значений внешних нагрузок, то возможно применение I-III классов при внутреннем давлении, превышающем значения для каждого класса на 0,3 МПа по согласованию заказчика с изготовителем и проектной организацией.

На рисунке 1 показана форма трубы. Размеры трубы отражены в таблице 1.

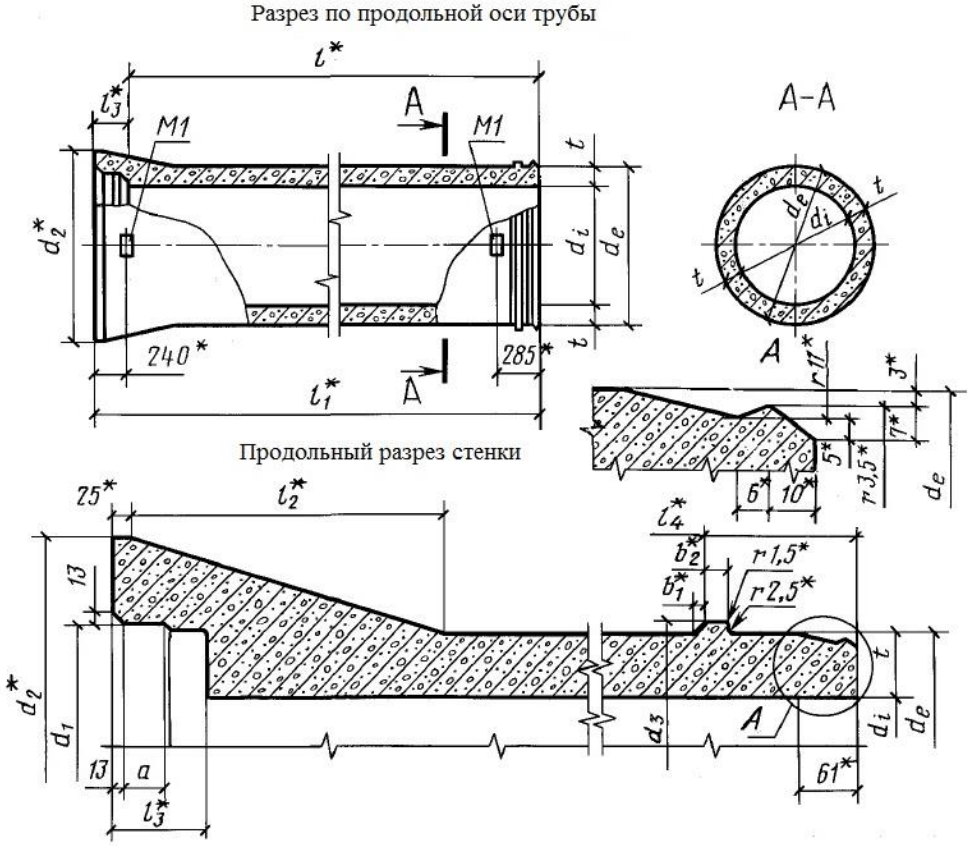


Рисунок 1 – Чертеж трубы

Таблица 1 – Размеры трубы ТН80–II

Диаметр условного прохода трубы $d$ , мм	Размеры трубы, мм														Масса трубы, т
	$d_i$	$d_e$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$l$	$l_1$	$t$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$a$	$b_1$	$b_2$	
800	800	930	955	1152	948	5000	5195	65	625	195	155	122	9	29	2,48

Трубы армируются двумя видами арматуры. Продольная напрягаемая арматура изготавливается из проволоки периодического профиля класса Вр-II. Спиральная напрягаемая арматура изготавливается из гладкой проволоки класса В-II. Витки этой арматуры закреплены в разделительных полосах из стальной холоднокатаной ленты.

Если проектом предусмотрена защита трубопровода от электрокоррозии, вызываемой блуждающими токами, трубы производятся со специальными закладными деталями, которые соединяются с арматурой труб. Таким способом осуществляются электрические перемычки между арматурой смежных труб. Расположение закладных деталей в трубах, конструкция и способ их установки определяются по ГОСТ 12586.1.

Технические характеристики и армирование труб в зависимости от их группы, а также арматурные изделия труб регламентированы в ГОСТ 12586.1.

Трубы маркируются в соответствии с требованиями ГОСТ 23009.

Марка труб содержит две буквенно-цифровых групп, которые разделены дефисом. Первая группа показывает сокращенное наименование трубы и диаметр условного прохода трубы в дециметрах. Во второй группе указывается класс трубы. Если внутреннее давление превышает расчетное значение, то вторую группу марки труб дополняют строчной буквой «у», а для трубы с закладными изделиями - строчной буквой «к».

Пример маркировки трубы диаметром условного прохода 800 мм и II класса: ТН80–II.

### 1.3 Технические требования

Трубы следует производить согласно с требованиями ГОСТ 12586.0 [1] а также технологической документации, утвержденной в установленном порядке, по чертежам, изображенными в ГОСТ 12586.1 [2].

Изделия должны быть водонепроницаемыми, должны удерживать внутреннее давление воды во время проверок 1,2 МПа для труб II класса.

Если у трубопроводов внутреннее давление превышает расчетное значение, то трубы должны удерживать проверочное давление, которое увеличено соответственно на 0,3 МПа.

Изделия должны быть стойкими к трещинам. Во время внутренних проверочных давлений воды, которые приведены в таблице 2, появление трещин в бетоне изделий не допустимо.

Таблица 2 – Внутреннее гидростатическое давление при проверке трещиностойкости трубы диаметром условного прохода  $d = 800$  мм

Марка трубы	Контрольное внутреннее гидростатическое давление, МПа, при проверке трещиностойкости трубы	
	при приемо-сдаточных испытаниях (при возрасте бетона 2 сут.)	при возрасте бетона к моменту испытания 100 сут.
ТН80–I	2,35	2,26
ТН80–II	1,81	1,77
ТН80–III	1,27	1,27

Закладные детали труб, которые предназначены для применения в условиях влияния блуждающих токов, должны иметь электрический контакт.

Изделия должны соответствовать требованиям ГОСТ 13015.0:

- по показателям фактической прочности бетона (в проектном возрасте, передаточной);
- по качеству арматуры и закладных деталей и их расположению в изделии;
- по защите от коррозии.

Изделия нужно производить из тяжелого бетона согласно ГОСТ 26633 следующих классов по прочности на сжатие:

- В30 для труб марок ТН50–III и ТН60–III;
- В40 для труб остальных марок.

В частности, для труб ТН80–II используется бетон класса В40, в количестве  $\approx 0,99 \text{ м}^3$  на производство одного изделия.

Подвижность бетонной смеси должна быть 1–3 см, однако водоцементное отношение не должно быть выше 0,38. Если применяются пластифицирующие добавки, возможно использование бетонной смеси подвижностью до 6 см, время смешивания составляющих в смесителях при приготовлении бетонной смеси должно быть не менее 5 минут.

Нормируемая передаточная прочность бетона изделий (прочность бетона к моменту передачи на него усилия обжатия от спиральной арматуры) должна удовлетворять критериям, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Нормируемая передаточная прочность бетона

Диаметр условного прохода трубы $d$ , мм	Вид контролируемой прочности бетона	Нормируемая передаточная прочность бетона, МПа, трубы класса			
		0	I	II	III
800, 1000	На сжатие	–	–	31,4	25,5
	На растяжение при раскалывании	–	2,9	–	–

Отгрузка изделий заказчиком должна происходить только после проверки их на водонепроницаемость и стойкость к трещинам.

Основные критерии для напорной железобетонной трубы приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Общие показатели железобетонного изделия

Тип или марка изделия	Характеристики бетона				Объем бетона, $\text{м}^3$	Расход арматуры, кг			Масса изделия, т
	$V_{сж}$	$R_{пер}$ , МПа	W	F		Напрягаемой	Ненапрягаемой	Всего	
ТН80-II	40	31,4	12	200	0,99	82,3	10,4	92,7	2,48

Качество материалов, которые используются для приготовления бетона изделий, должно быть выполнено по техническим требованиям к бетону, регламентированными ГОСТ 12586.0, и удовлетворять требованиям:

- цемент по ГОСТ 10178;
- заполнители по ГОСТ8267, ГОСТ 10260 и ГОСТ 8736;
- вода по ГОСТ23732.

Крупный заполнитель нужно добавлять в следующих фракциях: от 5 до 10 мм; от 5 до 15мм; св. 10 до 20 мм.

Арматурная проволока должна соответствовать условиям:

- классов В-II и Вр-II по ГОСТ7348;
- классов В-I и Вр-I по ГОСТ6727.

Стальная холоднокатаная лента из низкоуглеродистой стали, используемая для производства разделительных полос, должна соответствовать условиям ГОСТ 503.

Форма и размеры арматуры и закладных деталей для труб должны удовлетворять данным, регламентированным в ГОСТ 12586.1 [2].

Схема армирования изделия приведена на рисунке 2.

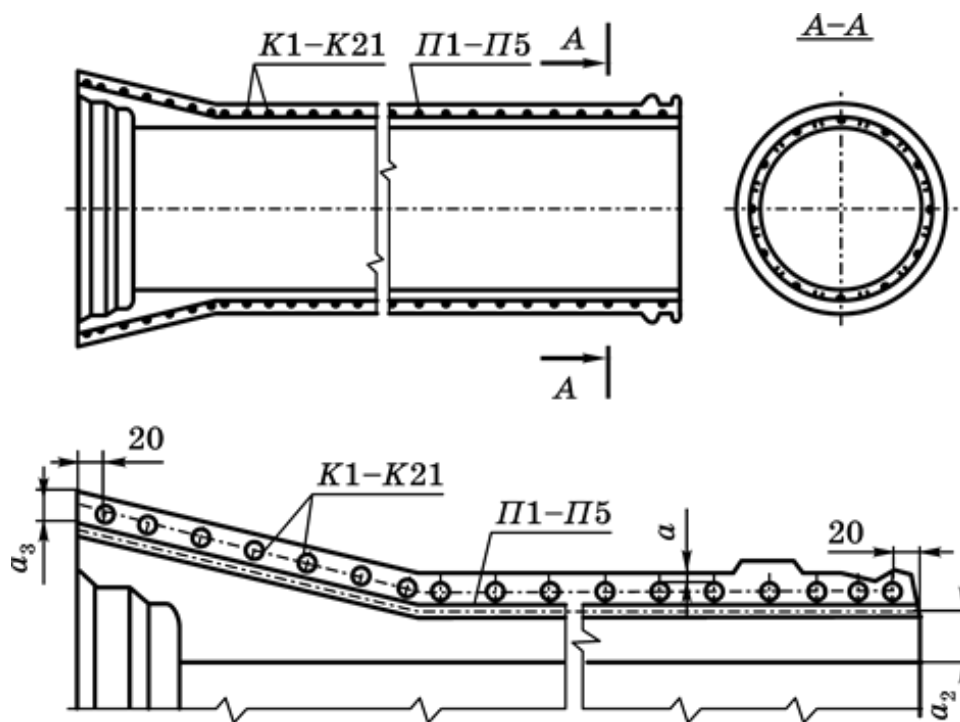


Рисунок 2 – Схема армирования трубы

Размеры армирования для труб ТН80-II:  $a_1 = 18$  мм;  $a_2 = 39,5$  мм;  $a_3 = 22$  мм.

На рисунке 3 показана стержневая арматура и спиральный каркас. Каркас марки К8 в количестве 1 шт. и продольная стержневая арматура марки П2 в количестве 20 штук применяется для трубы типа ТН80-II.

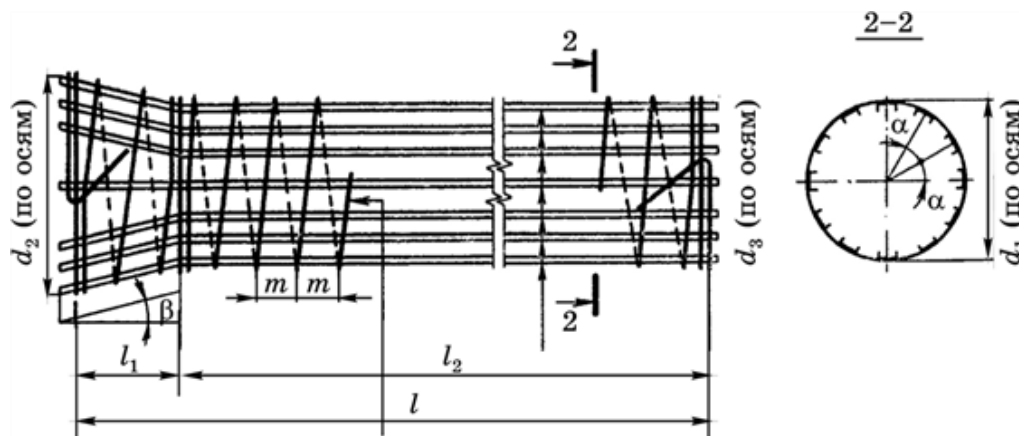


Рисунок 3 – Арматура

Выборка стали на одну трубу марки ТН80-II в соответствии с ГОСТ 12586.1 выглядит так:

- Арматурная сталь по ГОСТ 7348: Вр-II Ø 5мм – 16кг; В-II Ø 4мм – 66,3кг;
- Сталь прокатная по ГОСТ 503: сечение 20 x 0,7мм – 10,4кг.

В итоге масса стали на одну трубу составляет 92,7 кг.

Защитный слой бетона изделий должен быть толщиной не менее 15 мм.

На поверхностях труб не допустимы:

- трещины на поверхностях изделий, как наружной, так и внутренней;
- наплывы, сколы, раковины, имеющие диаметр более 3 мм и глубину более 2 мм на стыках раструба и втулочного конца изделий;
- раковины, имеющие диаметр более 10 мм и глубину более 2 мм на остальной наружной поверхности;
- наплывы и сколы бетона ребер на торцевых поверхностях изделий высотой (глубиной) более 5 мм;
- следы (риски), которые имеют ширину и глубину более 1,5 мм на стыковой поверхности после проведения шлифовки раструба;
- более 3х раковин на площади  $0,01 \text{ м}^2$  на всей стыковой поверхности.

Не допускается наличия на изделиях отслоений наружного защитного слоя бетона. Отслоения защитного слоя бетона, размеры которых не больше значения  $0,4d$ , возможно устранять с помощью материалов, которые предохраняют арматуру от коррозии.

Концы продольной напрягаемой арматуры труб должны быть покрыты цементно-казеиновой обмазкой толщиной  $0,5 - 0,6$  мм. Они не должны выступать из бетона. Состав обмазки по массе должен иметь соотношение  $1:0,05:0,4$  (цемент, казеиновый клей, вода). Возможно использование обмазки из любых других нетоксичных материалов, которые обеспечивают коррозионную и механическую стойкость покрытия.

#### 1.4 Комплектность

Завод–изготовитель обязан доставлять заказчику трубы в комплекте с уплотняющими резиновыми кольцами (одно кольцо на одну трубу), которые вставляются в раструбную часть трубы. Кольца должны быть изготовлены по техническим условиям и иметь паспорт качества. Размеры этих колец в исходном нерастянутом состоянии должны удовлетворять условиям, указанным в ГОСТ 22000.

По просьбе заказчика завод–изготовитель должен доставить лишние уплотняющие резиновые кольца для раструбной части трубы в требуемом количестве.

#### 1.5 Правила приемки

Трубы нужно принимать партиями в соответствии с условиями ГОСТ 13015.0 и ГОСТ 13015.1. Партия должна содержать по количеству не более 100 труб.

Трубы принимают по итогам периодических испытаний:

- по шероховатости внутренней поверхности труб;
- по данным водонепроницаемости и трещиностойкости труб, по закладным деталям и электрическому контакту между ними, величине прочности бетона

(класс по прочности на сжатие, передаточная прочность), соответствию арматурных и закладных изделий ГОСТ12586.1, точности размерных параметров, толщины и отслоения защитного слоя бетона, качества поверхности труб.

Приемка труб по их водонепроницаемости, наличию закладных деталей и электрического контакта между ними проводится с помощью сплошного контроля. По данным этого контроля также принимаются отклонения по внутреннему диаметру раструба труб, качество внутренней поверхности раструба и наружной поверхности втулочного конца труб, наличие трещин на бетонных поверхностях, отслоения наружного защитного слоя бетона и антикоррозионной защиты концов продольной напрягаемой арматуры. Приемку точности написания маркировочных надписей и знаков также следует проводить по итогам сплошного контроля.

Если трубы выдержали испытания на водонепроницаемость, то к окончанию проверки на его поверхности не должно остаться фильтрации воды – влажные пятна, капли, течь.

Если фильтрация воды проявилась во время превышения испытательного давления, то данный факт не позволяет браковать труб при испытании их на трещиностойкость. Трубы, которые не выдержали испытания на водонепроницаемость и трещиностойкость, могут быть испытаны заново. Вторую проверку труб на водонепроницаемость производят спустя 7 суток после первого испытания, если трубы хранятся во влажных условиях. Если трубы пропитаны жидким стеклом или композициями на его основе, то через 2 суток.

Если трубы 0, I и II классов при последующих нагрузках на водонепроницаемость или трещиностойкость не соответствуют требованиям данного стандарта по этим показателям, то возможна их перемаркировка с переводом на один класс ниже.

Трубы считаются прошедшими проверку по наличию электрического контакта между закладными деталями, если сопротивление цепи не превышает 1 Ом. Трубы, в которых отсутствует электрический контакт между закладными деталями, разрешается доставлять как трубы без закладных изделий.



Отслоения наружного защитного слоя бетона можно установить с помощью удара молотком по поверхности трубы по глухому звуку.

Испытания по шероховатости внутренней поверхности труб производят перед стартом их массового выпуска, а также при смене вида заполнителя, конструкции резинового чехла и марки пластифицирующих добавок, но не реже одного раза в 6 мес. Проверке следует подвергать две трубы каждого диаметра.

#### 1.6 Методы контроля и испытаний

Трубы необходимо выдержать в цехе двое суток перед тем, как проверять их гидростатически на водонепроницаемость и трещиностойкость.

Испытательное давление определяется с помощью манометра, который должен иметь II класс точности и цену деления не более 0,05 МПа.

Гидростатические испытания труб проводятся по следующей схеме. Изделия проверяют с помощью увеличения давления на 0,1 - 0,25 МПа в минуту до величин, содержащихся в технических требованиях. Держат под испытательным давлением в течение 5 мин. При проверке изделий на трещиностойкость допускается снижение давления не более 0,1 МПа. Возможно использование ультразвукового метода контроля и оценки трещиностойкости труб по ГОСТ 24983.

Наличие электрического контакта между закладными изделиями трубы оценивается с помощью омметра с ценой деления не более 0,5 Ом.

Прочность бетона труб определяется по ГОСТ 10180 на партии образцов-кубов стороной 100 мм, которые изготовлены из бетонной смеси рабочего состава и затвердевшие в условиях согласно ГОСТ 18105. Прочность бетона на сжатие определяется проверкой вибрированных образцов, а на растяжение при раскалывании проверкой образцов, которые изготовлены вибрированием и последующим прессованием под давлением 0,2 МПа. При этом, режим тепло-влажностной обработки образцов должен совпадать с условиями твердения наружного защитного слоя бетона изделий.

Толщина защитного слоя бетона в трубах определяется с помощью электромагнитного прибора типа ИЗС по ГОСТ 22904 или другими способами, кото-

рые обеспечивают нужную точность измерения. В случае, когда отсутствует прибор, возможно определение толщины защитного слоя бетона посредством отбивки его в трех местах изделия: в середине раструба, в месте перехода от раструба к цилиндрической части трубы и во втулочном конце изделия в 300 мм от торца. Отбивка защитного слоя производится по наружному диаметру не менее чем в трех точках (через 120°). После этого обязательна заделка отбитых мест раствором состава по массе 1:2,5:0,4 (цемент, песок, вода).

Качество защитного слоя бетона в изделиях определяется посредством тщательного простукивания наружной поверхности изделий молотком, который весит 250 г.

Размеры труб и качество их поверхностей должны контролироваться ГОСТ 13015. Для измерения геометрических размеров изделий применяется стандартный измерительный инструмент или специальные приспособления, которые обеспечивают нужную точность измерения. Инструменты должны быть аттестованы органами метрологической службы. Измерения труб проводят в следующем порядке:

- сначала проверяется толщина стенки изделия в 300 мм от втулочного торца трубы с помощью штангенциркуля или другого инструмента в 4х местах посередине между швами по 2м диаметрам, расположенным перпендикулярно относительно друг друга;

- далее проверяется наружный диаметр втулочного конца изделия и буртика с помощью калибров по 2м диаметрам, расположенным перпендикулярно относительно друг друга;

- затем проверяется диаметр внутренней калиброванной части раструба с помощью нутромера или штангенциркуля по 2м диаметрам, расположенным перпендикулярно относительно друг друга, на расстояниях 40, 80 и 110 мм от торца изделия;

- и в конце проверяется внутренний диаметр изделия с помощью нутромера на расстоянии 500 мм от торцов по 2м диаметрам, расположенным перпендикулярно относительно друг друга.

## 1.7 Маркировка, транспортирование и хранение

ГОСТ 13015.2 определяет правила маркировки труб. Надписи и знаки необходимо наносить на наружную поверхность раструба каждого изделия. Требования к документу о качестве труб, поставляемых заказчику, регламентированы ГОСТ 13015.3. К тому же ещё требуется указать в документе о качестве показатели шероховатости внутренней части изделия, а также марку поставляемых вместе с трубой резиновых уплотнительных колец и данные технических условий на них.

Для перемещения труб мостовыми кранами используются специальные траверсы, которые не повреждают изделия. Разрешается перекачивать трубы, но только по каткам и при таком условии их укладки, чтобы изделия не могли опираться раструбной частью и втулочными концами на катки и пол. Трубы хранятся на складе в штабелях, в которые изделия складывают по маркам. По высоте такие штабели должны иметь количество рядов труб, не более регламентированного таблицей 5.

Таблица 5 – Число рядов труб по высоте

Диаметр условного прохода трубы $d$ , мм	Число рядов труб по высоте
От 500 до 1000 включительно	4
1200	3
1400 и 1600	2

В основании каждого такого штабеля укладываются 2 подкладки. Они должны быть расположены на расстоянии 1 м от торцов изделий. Эти самые подкладки должны иметь такую конструкцию, которая не допускает скатывания нижнего ряда изделий. Эти подкладки располагаются параллельно длине труб. Если же место складирования является постоянным, то подкладки необходимо закрепить на площадке. В каждом ряду изделия ставятся таким образом, чтобы у 2х соседних труб раструбы смотрели в противоположные стороны. Каждый выше лежащий ряд укладывается перпендикулярно к нижнему ряду.

Когда изделия погружаются на транспортные средства и выгружаются с них необходимо принимать во внимание меры предосторожности, позволяющие транспортировать трубы без повреждений. Транспортные средства должны быть снабжены седлообразными подкладками, необходимые для предотвращения смещения и соприкосновения труб.

Во время погрузки и разгрузки изделий недопустимо:

- использование средств крепления и транспортировки с узлами и выступами, позволяющие повредить бетон;
- крепление строп и тросов в плоскости длины трубы или пропуск его через трубу, использование крючков, которые цепляются за концы изделия;
- волочение изделий по земле;
- падение изделий во время разгрузки;
- перекачивание изделий по наклонным поверхностям без удерживания;
- перемещение труб без использования катков и подкладок.

## 2 ВЫБОР СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА

Способ производства железобетонных изделий определённого типа выбирается в соответствии с требованиями СНиП 3.09.01 [5] и др.

На предприятиях сборного железобетона используются два способа изготовления изделий: стендовый (для массивных крупногабаритных изделий, производимых в непереключаемых формах) и поточный, при котором отдельные технологические операции осуществляются в перемещаемых формах на специальных постах.

К стендовому способу относятся: технологические линии для изготовления преднапряженных железобетонных изделий на длинных стендах, для которых упоры, воспринимающие натяжение арматуры, вынесены за пределы формы и напрягаемая арматура заготавливается сразу на несколько изделий (до 5...6), располагающихся в одну линию; короткие стенды с выносимыми силовыми упорами предназначены для изготовления одного-двух изделий; силовые формы короткие стенды, но без отдельно стоящих упоров, последние устанавливаются непосредственно на форме, которая и воспринимает усилие натяжения арматуры.

К поточным линиям относятся поточно-агрегатные и поточно-конвейерные, для которых технологический процесс осуществляется на специализированных постах в последовательно перемещаемых формах. Транспортным оборудованием поточно-агрегатной линии чаще всего является мостовой кран, а тепловые агрегаты для ускорения твердения бетона изделий применяются периодического способа (ямные камеры).

Поточно-конвейерный способ осуществляется при использовании рольгангов или шаговых конвейеров, с помощью которых все формы на технологической линии одновременно перемещаются на следующий пост – на один технологический шаг с заданным ритмом, а также прокатных станов, на которых все операции выполняются на непрерывно движущейся формовочной ленте. Поточно-конвейерные линии оснащаются термоформами, которые собираются в пакеты для ТВО, или оборудуются тепловыми агрегатами непрерывного действия (тун-

нельными, щелевыми, вертикальными). Обычно формовочные конвейеры, пакеты термоформ и линии возврата форм или тепловые агрегаты образуют замкнутые линии, по которым перемещаются формы. Использование поточных способов производства позволяет повысить производительность труда и качество выпускаемых изделий за счет оснащения постов специализированным оборудованием. Появляется возможность автоматизации производства. Недостатками конвейерных линий является то, что они предназначены для узкой номенклатуры изделий, тогда как поточно-агрегатные линии больше отвечают требованиям гибкого производства – они легко перенастраиваются при смене номенклатуры выпускаемой продукции.

Особенности производства железобетонных напорных виброгидропрессованных труб:

- укладка бетонной смеси осуществляется в специальные формы;
- армирование и формование производятся на разных постах цеха;
- в цехе форма и сама труба транспортируются с помощью мостового крана;
- пар для ТВО подается в паровую рубашку формы и под резиновый чехол сердечника.

Исходя из особенностей производства железобетонные преднапряженные трубы следует формовать на специализированных поточно–агрегатных линиях.

### 3 ОПИСАНИЕ ТИПОВОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА

Методом виброгидропрессования изготавливаются напорные раструбные трубы внутренним диаметром от 500 до 1600 мм и общей длиной около 5200 мм, полезной длиной (цилиндрической части) 5000 мм, то есть на длину раструбного соединения приходится около 200 мм [10]. Труба армируется продольной напрягаемой арматурой класса Вр-II и спиральной напрягаемой арматурой класса В-II, из высокопрочной проволоки. Схема трубы и деталь армирования приведены на рисунке 4.

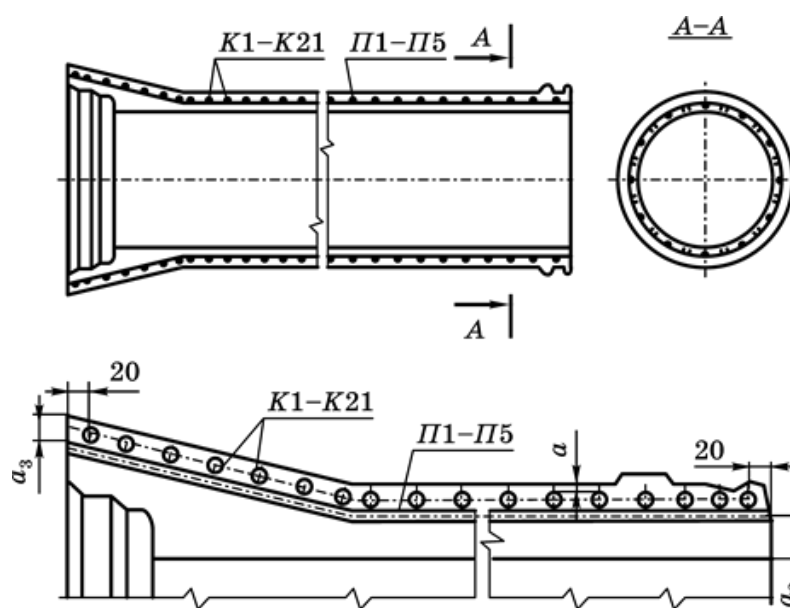


Рисунок 4 – Схема трубы и деталь армирования трубы

Форма для изготовления виброгидропрессованных труб состоит из наружной обечайки и внутреннего сердечника, крестовины, захватов, рукавов высокого давления. Для изготовления труб диаметром не более 800 мм обечайка состоит из двух частей (полуформы), при больших диаметрах – из четырех секций [3].

Полуформы соединяются между собой одиннадцатью пружинными болтами на каждом разъеме. Пружинные болты создают строго определенное усилие на форме, возникающее при гидропрессовании после ее расширения, и обеспечивают обжатие защитного слоя бетона и равномерное расширение каждого разъема. На наружной поверхности полуформ предусмотрены кронштейны для навески пневматических вибраторов. В верхней части наружной формы устанавливают калибрующее кольцо, предназначенное для формирования втулочной части трубы. По

торцам формы устанавливают верхнее и нижнее анкерные кольца, фиксирующие положение продольной арматуры, на которую устанавливается арматурный каркас. Внутренний сердечник представляет собой два концентрически расположенных цилиндра с расстоянием в свету 6 мм с перфорированными наружными стенками. На сердечник надевается резиновый чехол и прикрепляется раструбообразователь.

Процесс изготовления труб начинается с производства разделительных полос (рисунок 5), которые штампуются из металлической ленты – сначала изгибается П-образный профиль, а затем просекаются язычки, расстояние между которыми  $S$  (от 18,02 до 22,03 мм в зависимости от диаметра трубы) определяет шаг навивки спирали. Для трубы ТН80–II  $S = 22,03$  мм.

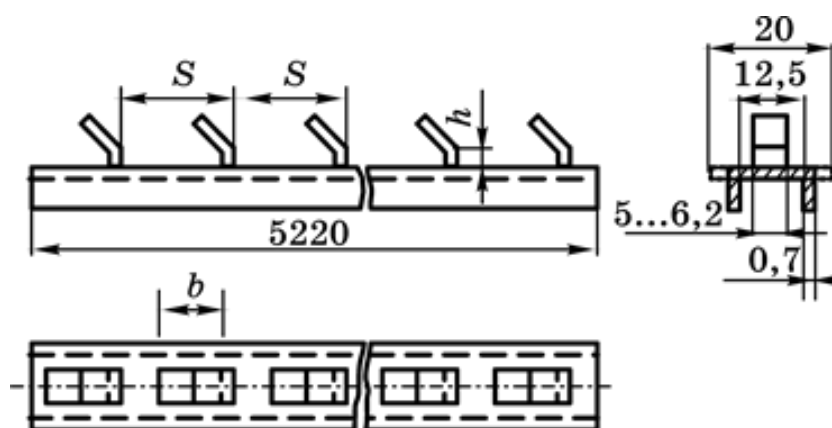


Рисунок 5 – Разделительные полосы

Разделительные полосы (от 12 до 30 шт. для разных диаметров труб) устанавливаются на направляющие ротора станка для навивки спирали, которая начинается с конической части. На малых оборотах навивается один виток и вплотную к нему второй, эти витки скрепляются зажимными планками. Затем при навивке каретка перемещается вдоль станка, и проволока укладывается на разделительные полосы рядом с язычками, которые загибаются, фиксируя шаг навивки. В конце навивки каркаса делаются вплотную два витка, которые скрепляются болтами с планками, и проволока обрезается. Каркас освобождается (рисунок 6) и снимается траверсой. Продольная арматура отрезается на мерные длины, с двух сторон на нее надеваются уплотняющие, захватные и анкерные втулки, после этого на машине СМЖ-155 производится холодная высадка анкерных головок.



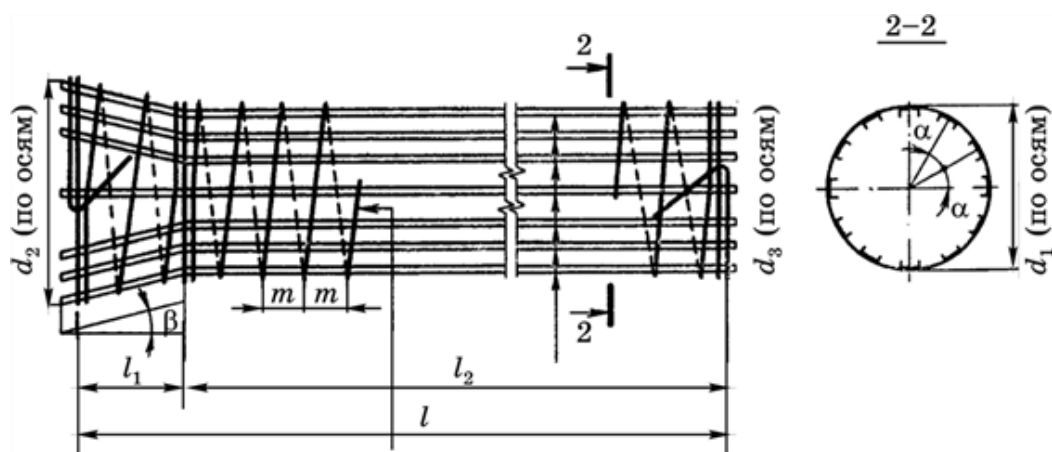


Рисунок 6 – Спиральный каркас

Внешняя обечайка формы в горизонтальном положении собирается и скрепляется тарированными пружинными болтами, на продольные швы наклеивается клейкая лента, и внутренняя часть обечайки смазывается эмульсионной смазкой. В подготовленную наружную форму устанавливают спиральный каркас, укладывают продольную арматуру вместе с нижним анкерным кольцом, устанавливают и закрепляют пружинными зажимами калибрующее и верхнее анкерное кольцо. Стержни продольной арматуры устанавливаются в пазы анкерных колец, и производится натяжение продольной арматуры гидродомкратом, ход поршня которого обеспечивает напряжение, равное 65% от нормативного предела прочности арматуры. После удлинения продольного стержня устанавливается фиксирующая втулка, обеспечивающая требуемую величину напряжения. После натяжения всех продольных стержней, обеспечивающих центрирование спирального каркаса, наружная форма мостовым краном переводится в вертикальное положение и переносится в приямок для комплектации (установки сердечника в форму).

Параллельно готовится сердечник – резиновый чехол и раструбообразователь очищаются и смазываются мыльной эмульсией. Затем наружная форма устанавливается на подготовленный сердечник, после чего форма в сборе переносится мостовым краном на пост бетонирования трубы, где она доукомплектовывается навесными вибраторами (3–5 шт. в зависимости от диаметра трубы) и загрузочным конусом. При помощи бетоноукладчика подается бетонная смесь в загрузочный конус, пневматической вибратор на нем обеспечивает равномерное поступление смеси в форму без ее расслоения. Пневматические вибраторы, установлен-

ные на форме, включаются по высоте попеременно в зависимости от уровня бетонной смеси в форме. Применяется бетонная смесь с показателем подвижности  $OK = 1 \dots 3$  см (при применении пластифицирующих добавок допускается  $OK = 1 \dots 6$  см), формование длится 50–70 мин. После окончания бетонирования с формы снимаются вибраторы и загрузочный конус, и она переносится мостовым краном на пост опрессовки и тепловой обработки. Сердечник формы присоединяется к системам низкого и высокого давления, через которые вода поступает под резиновый чехол. Свежеуложенная бетонная смесь, следуя за расширением чехла и обечайки, тянет за собой витки арматурного каркаса, тем самым напрягая его.

Общая длительность повышения давления составляет примерно 30 мин, при этом отжимается до 10–13% воды из бетонной смеси. После достижения заданного давления прессования трубы (2,84–3,43 МПа) на форму надевают брезентовый чехол и подают пар во внутреннюю полость сердечника и под чехол, температура тепловой обработки 70–80 °С, длительность 5–7 ч. По окончании тепловой обработки за 10 мин снижают давление гидропрессования и отводят воду из-под резинового чехла, снимают брезентовый чехол. Сердечник формы подключается к вакуумной установке, из внутренней полости удаляются остатки воды, и создается вакуум для отлипания резинового чехла от поверхности трубы. Затем наружная обечайка с трубой снимается с сердечника и транспортируется на пост распалубки. Сердечник остается на посту комплектации, где он готовится к следующему циклу формования.

На посту распалубки производится кантование и разборка наружной формы: обрезка головок продольной арматуры у раструбного конца трубы, снятие и очистка нижнего анкерного кольца, съём пружинных болтов и верхней полуформы краном, обрезка анкерных головок у втулочного конца трубы, съём верхнего анкерного и калибрующего колец, извлечение трубы из формы, обрезка заподлицо концов продольной арматуры и доводка трубы.

После выдержки труба устанавливается на машину для шлифовки и калибровки раструба, после чего производится гидравлическое испытание, и труба вывозится самоходной тележкой на склад готовой продукции.

## 4 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

### 1. Пост распалубки.

На посту распалубки бетонщики снимают с формы уплотнительное и рас-  
трубное кольца и очищают их. Далее происходит съём пружинных болтов с по-  
мощью пневматических гайковертов. При помощи крана такелажник стропует и  
снимает секции формы. Затем бетонщики снимают калибровочное кольцо. Таке-  
лажники вынимают изделие и передают его при помощи крана на пост доводки.

### 2. Пост армирования.

На посту армирования происходит навивка спирального каркаса на нави-  
вочном станке. Далее каркас перемещается при помощи крана на пост формова-  
ния и там устанавливается в форму. Затем форма снова возвращается на пост ар-  
мирования при помощи крана, и выполняется установка и натяжение продольной  
арматуры с помощью гидравлического домкрата. За этим следят арматурщики.

### 3. Пост подготовки формы.

На этом посту формовщики чистят форму. Потом происходит процесс сбор-  
ки обечайки, состоящий из соединения секций тарированными пружинными бол-  
тами и проклейки швов. После этого смазывают форму. Когда обечайка будет  
подготовлена, в нее устанавливается спиральный каркас. После этого форма пе-  
ремещается обратно на пост армирования. При помощи кантователя она перемещается  
в горизонтальное положение и дальше осуществляется натяжение стерж-  
ней продольной арматуры. В конце этой операции форма перемещается мостовым  
краном на пост комплектации.

### 4. Пост комплектации.

Здесь формовщики подготавливают сердечник формы, а потом смазывают  
его. Далее происходит присоединение обечайки и навеска на нее вибраторов. По  
завершении, собранная форма отправляется на пост формования, при помощи мо-  
стового крана.

#### 5. Пост формования.

По прибытии формы и установке ее в прямке формовщиками устанавливается загрузочный конус. После, машинистом бетоноукладчика готовится бетоноукладчик, и начинается процесс укладки и уплотнения бетонной смеси. Потом формовщики снимают загрузочный конус и вибраторы с формы и форма отправляется на пост опрессовки и ТВО.

#### 6. Пост опрессовки и ТВО.

На посту опрессовки и ТВО все процессы контролируются пропарщиками. Форма подключается к системам высокого и низкого давления, после чего происходит процесс опрессовки. После того, как закончится гидропрессование, на форму надевают брезентовый чехол, и начинается тепловая обработка, которая длится 5 часов (300 минут). Когда заканчивается тепловая обработка происходит отвод воды и съём пропарочного чехла. По завершении отвода воды в сердечнике создается вакуум, и удаляются остатки влаги. Далее изделие с наружной формой снимается с сердечника при помощи мостового крана и отправляется на кантователь и после на пост распалубки. После удаления наружной формы и изделия сердечник отправляют на пост комплектации для подготовки к следующему циклу.

#### 7. Пост доводки.

Изделие на пост доводки поступает с поста распалубки. Там отделочники следят за процессом шлифовки труб, а затем за калибровкой раструбов. Далее изделие при помощи мостового крана транспортируют на стенд гидравлических испытаний, где производят испытания. Как только испытания закончатся, изделие краном перемещается на самоходную тележку и транспортируется на склад готовой продукции.

## 5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ

### 5.1 Режим работы предприятия

В соответствии с требованиями ОНТП 07-85 [4] принимается:

- номинальное количество рабочих суток в году – 260;
- количество рабочих смен в сутки (с тепловой обработкой) – 3;
- продолжительность рабочей смены, ч – 8;

Для линий по производству труб методом виброгидропрессования длительность плановых остановок составляет 14 суток. Продолжительность плановых остановок включает переналадку и замену форм, осуществляемую в течение смены на специализированных постах.

Расчетное число рабочих суток в год определяется как номинальное количество рабочих суток в год за вычетом длительности плановых остановок на ремонт. Значит, расчетное количество рабочих суток в году – 246 [11].

Расчетный фонд рабочего времени составит:

$$B_p = 246 \cdot 8 \cdot 3 = 5904 \text{ ч}$$

### 5.2 Технологические расчёты при поточно – агрегатном способе производства железобетонных изделий

Поточно – агрегатный способ производства обычно применяется для производства железобетонных изделий длиной до 12 м, шириной до 3 м. Изделия формируют с помощью специальных агрегатов. Технологические операции осуществляются на специализированных постах в переносных формах, которые последовательно передаются с поста на пост с помощью транспортного или грузоподъемного оборудования.

Годовая производительность поточно – агрегатной технологической линии, выпускающей несколько типоразмеров изделий:

$$P = 60 \cdot K_{учн} \cdot B_p \cdot h \cdot \sum d_i V_i / t_i, \quad (1)$$

где  $K_{исп}$  – коэффициент использования оборудования,  $K_{исп} = 0,92–0,94$ ;  $V_p$  – число рабочих суток в году;  $h$  – число рабочих часов в сутки;  $d_i$  – доля формовок в час  $i$ -го изделия;  $V_i$  – объём бетона в твердом теле  $i$ -того изделия,  $m^3$ ;  $t_i$  – продолжительность цикла формования  $i$ -го изделия, мин;

Продолжительность цикла формования  $i$ -го изделия (мин) на агрегатно-поточной технологической линии выбирается из ОНТП 07-85 и для однослойных изделий сложной конфигурации при формовании в одной форме  $t_i = 15$  мин.

Таким образом, получаем годовую производительность:

$$P = 60 \cdot 0,93 \cdot 246 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 0,99 / 15 = 43486,5 \text{ м}^3.$$

### 5.3 Расчет состава бетона

Средний уровень прочности определяется:

$$R_y = R_T \cdot K_{мп} = B_n \cdot K_T \cdot K_{мп} \quad (2)$$

где  $R_T$  – требуемая прочность, МПа;  $B_n$  – нормируемая по классам прочность, МПа;  $K_T$ ,  $K_{мп}$  – коэффициенты, зависящие от  $C_v$ ;

$K_T = 1,09$ ,  $K_{мп} = 1,05$ , т.к.  $C_v = 7\%$ .

$$R_y = 40 \cdot 1,09 \cdot 1,05 = 45,78 \text{ (МПа)}$$

Цементно-водное отношение  $(Ц/В)_1$  в номинальном составе бетона, обеспечивающее получение заданного среднего уровня прочности после ТВО:

$$(Ц/В)_1 = \frac{R_{пб} + 0,37 \cdot R_{пц} + 3,22}{0,43 \cdot R_{пц} + 5,6}, \quad (3)$$

где  $R_{пб}$  – отпускная прочность бетона после ТВО, МПа;

$$R_{пб} = 0,7 \cdot R_y = 0,7 \cdot 45,78 = 32,05 \text{ (МПа)}$$

$R_{пц}$  – активность цемента при пропаривании, МПа; (выбирается исходя из группы, вида и марки применяемого цемента),  $R_{пц} = 32$  (МПа).

$$(Ц/В)_1 = (32,05 + 0,37 \cdot 32 + 3,22) / (0,43 \cdot 32 + 5,6) = 2,43$$

$(Ц/В)_2$ , обеспечивающее средний уровень прочности бетона в возрасте 28 суток нормального твердения:

$$(Ц/В)_1 = \frac{R_y - 0,06 \cdot R_{ц} + 10}{0,24 \cdot R_{ц} + 10}, \quad (4)$$

где  $R_{ц}$  – предел прочности цемента при сжатии в возрасте 28 суток, МПа.

$$(Ц/В)_2 = (45,78 - 0,06 \cdot 49 + 10) / (0,24 \cdot 49 + 10) = 2,43$$

Из двух значений Ц/В выбираем большее и принимаем его для подбора начального состава бетона ( $Ц/В = 2,43$ ).

Так как бетон для производства виброгидропрессованных труб нормируется по водонепроницаемости, существует необходимость введения воздухововлекающих добавок. При воздухововлечении 4 % принятая величина Ц/В увеличивается на 0,02.

$$Ц/В = 2,43 + 0,02 = 2,45$$

Для начального состава бетона количество необходимой воды затворения принимаем исходя из заданной удобоукладываемости бетонной смеси, вида и наибольшей крупности заполнителя.

При проектируемой подвижности бетонной смеси, соответствующей осадке конуса 1 – 4 см и наибольшей крупности щебня 10 мм расход воды составляет 200 л на 1 м<sup>3</sup>. Так как Ц/В не менее 1,25 и не более 2,5 расход воды не изменяется. В качестве мелкого заполнителя используется песок  $M_k = 2,0$  – расход воды не изменяется.  $V = 200$  л на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси рассчитывается:

$$Ц_p = V \cdot \frac{Ц}{В}, \quad (5)$$

$$Ц_p = 200 \cdot 2,45 = 490 \text{ кг}$$

Полученный расчетом расход цемента  $Ц_p$  сравниваем с минимально допустимым по ГОСТ 26633  $Ц_{min}$  расходом цемента  $Ц_{min} = 220$  кг и с элементными нормами расхода  $Ц_э$ , приведенными в СНиП 82-02-95. При этом должно выполняться условие:

$$Ц_{min} \leq Ц_p \leq Ц_э$$
$$Ц_э = Ц_б \cdot K, \quad (6)$$

где  $Ц_б$  – базовые нормы расхода цемента, кг;  $K$  – корректирующий коэффициент.  $Ц_б = 580$  кг для бетона класса В40 и отпускной прочностью 70 %.

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_i, \quad (7)$$

где  $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_i$  – коэффициенты зависящие от свойств материала:

$K_1 = 0,92$  для бетонов классов В30 и более и отпускной прочности 70...80 %;  
 $K_2 = 1,05$  для цементов с плотностью 27–30 %;  
 $K_3 = 1$  для цементов II группы эффективности при пропаривании;  
 $K_4 = 1$  для бетона на щебне;  
 $K_5 = 1,07$  при наибольшей крупности заполнителя 10 мм;  
 $K_6 = 1$  для щебня с содержанием зерен лещадной формы 25...35 %;  
 $K_7 = 1$  для бетона с использованием песка  $M_k = 2,5$ ;  
 $K_8 = 1$  при использовании мелкого заполнителя из природных песков;  
 $K_9 = 1$  для бетонных смесей с ОК 1–4 см;  
 $K_{10} = 1$  при использовании бетонной смеси температурой до 25 °С;  
 $K_{11} = 1,08$  при изготовлении преднапряженных железобетонных конструкций.

$$K = 0,92 \cdot 1,05 \cdot 1,07 \cdot 1,08 = 1,12.$$

$$Цэ = 580 \cdot 1,12 = 649,6.$$

$$220 < 490 < 649,6$$

Для снижения водопотребности и сохранения подвижности бетонной смеси необходимо ввести добавку пластификатор. Используем добавку Glenium ACE 420 в количестве 0,8% от массы цемента. Получаем массу добавки:

$$Д = 490 \cdot 0,008 = 3,92 \text{ кг.}$$

Количество воды уменьшается, в связи с добавлением пластификатора, значительно уменьшающего расход воды затворения.

$$В = 200 \cdot 0,8 = 160 \text{ кг.}$$

Пересчитаем Ц/В = 3,06.

Далее для определения необходимого объема заполнителей на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, нужно вычесть объемы воды и цемента. Так как была использована воздуховлекающая добавка, обеспечивающая в бетонной смеси 40л (4 %) равномерно распределенных пузырьков воздуха объем бетонной смеси составит  $1000 \text{ л} - 40 \text{ л} = 960 \text{ л}$ . Тогда абсолютный объем заполнителей:

$$V_3 = 960 - \frac{Ц}{\rho_ц} - \frac{В}{\rho_в} - \frac{Д}{\rho_д}, \quad (8)$$



$$V_3 = 960 - 490/3,1 - 160/1 - 3,92/1,006 = 960 - 158,1 - 160 - 3,9 = 638 \text{ л}$$

Долю песка в смеси заполнителей по абсолютному объёму выбирают в зависимости от расхода цемента и наибольшей крупности заполнителей с учетом удобоукладываемости бетонной смеси и крупности песка. Значение  $r$  высчитываем методом линейной интерполяции.

Так как НК щебня 10 мм, расход цемента 490 кг доля песка рассчитывается методом интерполяции исходя из значений  $r$  для НК щебня,  $r = 0,38$ . При  $M_k$  песка 2,5 его доля увеличивается:

$$r = 0,38 + 0,03 = 0,383.$$

Количество мелкого заполнителя (песка):

$$638 \cdot 0,383 \cdot 2,65 = 647,5 \text{ кг}$$

Количество крупного заполнителя (щебня):

$$638 \cdot 0,617 \cdot 2,7 = 1062,8 \text{ кг}$$

В итоге, расход материалов по массе на  $1\text{ м}^3$  уложенной и уплотненной бетонной смеси:

- цемент 490 кг;
- песок 647,5 кг;
- щебень 1062,8 кг;
- вода 160 кг;
- добавки 3,92 кг.

В виде отношения по массе между цементом, песком, крупным заполнителем (принимая расход цемента за единицу), при  $Ц/В = 3,06$ .

$$Ц/Ц : П/Ц : Щ/Ц = 1 : 1,3 : 2,2.$$

Расчетная средняя плотность уложенной и уплотненной бетонной смеси подсчитывается как сумма расходов всех компонентов по массе:

$$\rho = Ц + П + Щ + В + Д, \quad (9)$$

$$\rho = 490 + 647,5 + 1062,8 + 160 + 3,92 = 2364 \text{ кг/м}^3.$$

Таким образом, был подобран состав бетонной смеси, включающей в себя добавку пластификатора, которая обеспечит необходимые прочностные характеристики и длительный срок эксплуатации.

#### 5.4 Подбор и обоснование режима тепловой обработки

Выбор вида и режима тепловой обработки при изготовлении сборного железобетона осуществляется с учётом требований СНиП 3.09.01 [5, 6].

Для выполнения процесса тепловой обработки форму, установленную на пост, закрепляют с помощью струбцин или иных устройств, исключающих ее опрокидывание. Сердечник формы присоединяют через трехходовой кран к системе низкого и высокого давления. Первой стадией является процесс опрессовки. После достижения, заданного опрессовочного давления трубы подвергаются двухсторонней или односторонней тепловой обработке, подводя пар под надетый на форму чехол и во внутреннюю полость сердечника или только во внутреннюю полость сердечника. Продолжительность тепловой обработки труб, считая с момента пуска пара и до прекращения его подачи, принимаем процесс ТВО длительностью 7 часов.

Температура паровоздушной среды в полости внутреннего сердечника и под чехлом, которым накрывается форма, должна достигнуть 90–95 °С, а в полости наружной формы до 110 °С через 1 час после подачи пара. ТВО длится до получения требуемой величины передаточной прочности в соответствии с ГОСТ 12586.0-83. По достижении передаточной прочности бетона следует равномерно, не менее 10 минут, снижать давление гидропрессования и отводить воду из резинового чехла. После слива воды снимают паронепроницаемый чехол, освобождают форму от крепящих струбцин и направляют в приямок для комплектации, где начинают разборку формы.

Продолжительность выдерживания распалубленных изделий в цехе при температуре наружного воздуха ниже 0 °С после окончания тепловой обработки следует принимать 12 часов.

## 5.5 Теплотехнический расчет

Для проведения тепловлажностной обработки труб используются специальные пост, который совмещает в себе операции по опрессовке и тепловой обработке. К месту проведения ТВО форма с трубой перемещается при помощи мостового крана. Специальный сердечник формы подключается к системам низкого и высокого давления. Через эти системы вода попадает под резиновый чехол сердечника. Далее после получения заданного давления воды под резиновым чехлом на форму надевается брезентовый чехол. После чего пускается пар во внутреннюю полость сердечника и под брезентовый чехол.

При теплотехническом расчете формы используются следующие исходные данные:

- температура загружаемой бетонной смеси  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура окружающей среды  $t_{oc} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура изотермической выдержки  $t_{из} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура изделий при выгрузке из камеры  $t_{ох} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- удельная теплоемкость бетона  $c_б = 0,84 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$ ;
- коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_б = 1,56 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град}$ ;
- масса изделия  $G_{и} = 2433 \text{ кг}$ ;
- объем бетона в изделии  $V_б = 0,99 \text{ м}^3$ ;
- расход арматуры на 1 изделие  $G_a = 92,7 \text{ кг}$ ;
- масса бетона в изделии  $G_б = 2340,3 \text{ кг}$ ;
- вес сухих веществ на  $1 \text{ м}^3$   $G_{сб} = 2200,3 \text{ кг}$ ;

Общая масса сухих веществ на одно изделие:

$$G_{CI} = G_{сб} \cdot V_б, \quad (10)$$

$$G_{CI} = 2200,3 \cdot 0,99 = 2178,3 \text{ кг}$$

Количество воды, вступившее в реакцию с вяжущим:

$$G_{BC} = G_B \cdot \alpha_1, \quad (11)$$

где  $\alpha_1$  – степень гидратации, для ПЦ  $\alpha_1 = 0,17$ ;

$$G_{BC} = 160 \cdot 0,17 = 27,2 \text{ кг}$$

## Материальный баланс формы

Поступает в форму:

– сухих веществ:

$$G_c = V_{\text{бк}} \cdot G_{c1}, \quad (12)$$

где  $V_{\text{бк}}$  – общий объем бетона в форме:

$$V_{\text{бк}} = N_1 \cdot V_{\text{б}}, \quad (13)$$

где  $N_1$  – количество изделий в форме, шт.

$$V_{\text{бк}} = 1 \cdot 0,99 = 0,99 \text{ м}^3,$$
$$G_c = 0,99 \cdot 2178,3 = 2156,5 \text{ кг},$$

– воды:

$$G_w = V_{\text{бк}} \cdot G_B \quad (14)$$
$$G_w = 0,99 \cdot 160 = 158,4 \text{ кг}.$$

– металла форм:

$$G_M = N_2 \cdot G_{\text{Ф}}, \quad (15)$$

где  $N_2$  – количество форм, шт.;

$$G_M = 1 \cdot 85 = 85 \text{ кг}.$$

– арматуры и закладных деталей:

$$G_{\text{ар}} = 92,7 \text{ кг}.$$

Выгружается из камеры:

– сухого бетона:

$$G_{\text{б0}} = G_c + G_{\text{вг}}, \quad (16)$$

где  $G_{\text{вг}}$  – вода, превратившаяся в гидратную влагу, кг:

$$G_{\text{вг}} = G_{\text{вс}} \cdot V_{\text{бк}}, \quad (17)$$

$$G_{\text{вг}} = 27,2 \cdot 0,99 = 26,9 \text{ кг}$$

$$G_{\text{б0}} = 2156,5 + 26,9 = 2183,4 \text{ кг}$$

– остаточная влага изделий:

$$G_{\text{вост}} = G_w - G_{\text{вг}} - G_w \cdot \alpha_2 / 100, \quad (18)$$

где  $\alpha_2$  – процент испарившейся влаги за период,  $\alpha_2 = 30\%$ ;

– испарившаяся вода:

$$G_{\text{вн}} = G_{\text{в}} \cdot \alpha_2 / 100 = 158,4 \cdot 0,3 = 47,52 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{вост}} = 158,4 - 26,9 - 158,4 \cdot 0,3 = 83,98 \text{ кг.}$$

### Тепловой баланс формы

Для того, чтобы узнать максимальную скорость подъема температуры (или остывания) трубы и фактическую температуру, требуется провести расчет температуры.

Температура рассчитывается при помощи критериальных уравнений нестационарного теплообмена для моментов повышения температуры и изотермической выдержки. Форма работает постоянно, а температура держится неизменной. В этом случае расчеты будут проводиться за период изотермической выдержки. Во время определения температуры материала в точке трубы с координатой (x) при повышении температуры изделия вычисляются уравнения критериального нестационарного теплообмена.

Критерий Био:

$$\theta = \frac{(t_c - t)}{(t_c - t_H)} = f(F_o, Bi, \frac{x}{R}), \quad (19)$$

где  $\theta$  – безразмерная температура;  $t_c$  – температура среды в данное время;  $t$  – температура материала в точке с координатой  $x$ ;  $t_H$  – начальная температура тела;  $F_o$ ,  $Bi$  – временной критерий Фурье, критерий Био;  $R$  – характерный для теплообмена размер ( $R = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 0,075 = 0,0375 \text{ м}$ );

Критерий Фурье:

$$F_o = \frac{\alpha \cdot \tau}{R}, \quad (20)$$

где  $\tau$  – время выдержки,  $\tau = 7 \text{ ч}$ ;  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности.

Коэффициент температуропроводности, который определяет скорость нагрева материала при прочих равных условиях, вычисляется:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (21)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность материала, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $c$  – теплоемкость материала, Дж/кг·град;  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

$$\alpha = 1,56 / 840 \cdot 2364 = 0,0000008$$

$$F_o = 0,0000008 \cdot 7 \cdot 3600 / 0,0375 = 0,54$$

Критерий Био:

$$B_i = \frac{a \cdot R}{\lambda}, \quad (22)$$

где  $a$  – коэффициент теплоотдачи,  $a = 27,9$  Вт/м<sup>2</sup>·град.

$$B_i = 27,9 \cdot 0,0375 / 1,56 = 0,67.$$

Безразмерные температуры в центре и на поверхности изделия определяются в зависимости от критериев Био и Фурье по графическим зависимостям:

$$- \Theta_{\text{ц}} = 0,85;$$

$$- \Theta_{\text{п}} = 0,6.$$

Температура поверхности к концу периода:

$$t_n = t_o - \theta_{\text{п}}(t_o - t_{oc}), \quad (23)$$

где  $t_o$  – средняя по времени температура среды за период,  $t_o = 75$  °С.

$$t_n = 75 - 0,6(75 - 20) = 42 \text{ °С.}$$

Температура центра изделия в конце периода:

$$t_{\text{ц}} = t_o - \theta_{\text{ц}}(t_o - t_{oc}), \quad (24)$$

$$t_{\text{ц}} = 75 - 0,85(75 - 20) = 28,25 \text{ °С.}$$

Средняя температура изделия в конце периода:

$$t_c = 0,67 \cdot t_{\text{ц}} + 0,33 \cdot t_n, \quad (25)$$

$$t_c = 0,67 \cdot 28,25 + 0,33 \cdot 42 = 32,8 \text{ °С.}$$

Фактическая средняя температура изделия:

$$t_6 = t_c = 32,8 \text{ °С.}$$

Приход тепла

Теплосодержание сухой части бетонной смеси:

$$Q_{1-1} = G_c \cdot c_6 \cdot t_6, \quad (26)$$

$$Q_{1-1} = 2156,5 \cdot 0,84 \cdot 32,8 = 59415,89 \text{ кДж.}$$

Теплосодержание влаги в бетонной смеси:

$$Q_{1-2} = G_w \cdot c_w \cdot t_6, \quad (27)$$

где  $c_w$  – теплоемкость воды,  $c_w = 4,18$  кДж/кг · град.

$$Q_{1-2} = 158,4 \cdot 4,18 \cdot 32,8 = 21717,27 \text{ кДж.}$$

Теплосодержание арматуры и закладных деталей:

$$Q_{1-3} = G_a \cdot c_a \cdot t_6, \quad (28)$$

где  $c_a$  – теплоемкость стали,  $c_a = 0,48$  кДж/кг · град.

$$Q_{1-3} = 92,7 \cdot 0,48 \cdot 32,8 = 1459,47 \text{ кДж.}$$

Теплосодержание формы:

$$Q_{1-4} = G_m \cdot c_a \cdot t_6, \quad (29)$$

$$Q_{1-4} = 85 \cdot 0,48 \cdot 90 = 3672 \text{ кДж.}$$

Тепло материалов ограждений:

$$Q_{1-5} = \sum V_{i\text{огр}} \cdot \rho_{i\text{огр}} \cdot c_{i\text{огр}} \cdot t_{i\text{огр}}, \quad (30)$$

где  $V_{i\text{огр}}$  – объем  $i$ -го слоя материала ограждения, м<sup>3</sup>;  $\rho_{i\text{огр}}$  – плотность  $i$ -го материала, кг/м<sup>3</sup>;  $c_{i\text{огр}}$  – удельная теплоемкость  $i$ -го материала, кДж/кг · град;  $t_{i\text{огр}}$  – средняя температура  $i$ -го слоя материала, °С.

Требуется определить температуры для каждого слоя формы.

$$Q_{1-5} = V_{\text{формы}} \cdot \rho_{\text{формы}} \cdot c_{\text{формы}} \cdot t_{\text{формы}} + V_{\text{чехла}} \cdot \rho_{\text{чехла}} \cdot c_{\text{чехла}} \cdot t_{\text{чехла}}, \quad (31)$$

$$Q_{1-5} = 0,01 \cdot 7800 \cdot 0,48 \cdot 20 + 0,2 \cdot 1500 \cdot 1,19 \cdot 20 = 7956 \text{ кДж.}$$

Тепло, вносимое теплоносителем:

$$Q_{1-6} = G_1 \cdot i_n, \quad (32)$$

где  $G_1$  – количество подаваемого теплоносителя в период прогрева, кг;  $i_n$  – энтальпия теплоносителя,  $i_n = 60,288$  кДж/кг.

$$Q_{1-6} = G_1 \cdot 60,29 \text{ кДж.}$$

Сумма приходных статей:

$$Q_{\text{п}} = 59415,89 + 21717,27 + 1459,47 + 3672 + 7956 + G_1 \cdot 60,288$$

$$Q_{\Pi} = 94220,63 + 60,288G_1$$

Расход тепла

На нагрев сухих материалов:

$$Q_{2-1} = Q_{1-1} = 59415,89 \text{ кДж.}$$

На нагрев воды в бетонной смеси:

$$Q_{2-2} = (G_w - G_{\text{ви}} - G_{\text{вг}}) \cdot c_w \cdot t_6, \quad (33)$$

$$Q_{2-2} = (158,4 - 47,52 - 26,9) \cdot 4,18 \cdot 32,8 = 11513,99 \text{ кДж.}$$

На нагрев арматуры и закладных деталей:

$$Q_{2-3} = Q_{1-3} = 1459,47 \text{ кДж.}$$

На нагрев формы:

$$Q_{2-4} = Q_{1-4} = 3672 \text{ кДж.}$$

На нагрев материалов ограждений:

$$Q_{2-5} = Q_{1-5} = 7956 \text{ кДж.}$$

Потери тепла в окружающую среду через стенки камеры:

$$Q_{2-6} = 3,6 \cdot k \cdot F_n \cdot D_n \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{ос}}), \quad (34)$$

где  $D_n$  – время изотермической выдержки, ч;  $F_n$  – площадь стен,  $\text{м}^2$ ;  $t_{\text{ст}}$  – температура наружной поверхности стен,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$ .

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (35)$$

$$k = 1 / (1/0,17 + 0,055/0,042 + 0,005/0,056 + 1/0,3) = 0,09$$

$$Q_{2-6} = 3,6 \cdot 0,09 \cdot 17,27 \cdot 7 (75 - 20) = 2154,26 \text{ кДж.}$$

Потери тепла на испарение части воды затворения:

$$Q_{2-7} = G_{\text{ви}} \cdot (r + c_{\text{в}} \cdot t_6), \quad (36)$$



где  $r$  – скрытая теплота парообразования, кДж/кг;  $c_v$  – теплоемкость воздуха, кДж/кг · град.

$$Q_{2-7} = 47,52 \cdot (1023 + 1,0048 \cdot 32,9) = 50183,87 \text{ кДж.}$$

Тепло, уносимое конденсатом:

$$Q_{2-8} = G_k \cdot c_k \cdot t_o, \quad (37)$$

$$G_k = G_1 - G_{св} - G_{пр}, \quad (38)$$

где  $G_{пр}$  – потери тепла через неплотности в атмосферу,  $G_{пр} = 0,1 \cdot G_1$ , кг;  $G_{св}$  – масса воздуха, заполняющего свободный объем камеры, кг.

$$G_{св} = \rho_v \cdot (V_k - V_{бк} - V_{\phi}), \quad (39)$$

где  $\rho_v$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\phi}$  – объем, занимаемый формами, м<sup>3</sup>;  $V_k$  – рабочий объем камеры, м<sup>3</sup>.

$$V_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{\rho_{\phi}} \cdot N_2, \quad (40)$$

где  $\rho_{\phi}$  – плотность стали, кг/м<sup>3</sup>.

$$V_{\phi} = 85 / 7800 \cdot 1 = 0,01 \text{ м}^3.$$

$$G_{св} = 1,28 \cdot (5,2 - 0,99 - 0,01) = 5,38 \text{ кг.}$$

$$G_k = G_1 - 5,38 - 0,1 \cdot G_1 = 0,9 G_1 - 5,38 \text{ кг.}$$

$$Q_{2-8} = (0,9G_1 - 5,38) \cdot 1,0048 \cdot 32,8 = 29,66 G_1 - 177,31 \text{ кДж.}$$

Потери тепла с паром, уходящим через неплотности установки:

$$Q_{2-9} = G_{пр} \cdot c_v \cdot t_o, \quad (41)$$

$$Q_{2-9} = 0,1G_1 \cdot 1,0048 \cdot 32,8 = 3,29G_1 \text{ кДж.}$$

Сумма расходных статей:

$$Q_p = 59415,89 + 11513,99 + 1459,47 + 3672 + 7956 + 2154,26 + 50183,87 + \\ + 29,66 G_1 - 177,31 + 3,29G_1 = 136178,17 + 32,95G_1$$

$$Q_{п} = Q_p$$

$$94220,63 + 60,29 G_1 = 136178,17 + 32,95G_1$$

$$G_1 = 1534,66 \text{ кг.}$$

$$Q_{1-6} = 60,29 \cdot G_1 = 92524,65 \text{ кДж,}$$

$$Q_{2-8} = 29,66 \cdot G_1 - 177,31 = 45340,71 \text{ кДж,}$$

$$Q_{2-9} = 3,29 \cdot G_1 = 5049,03 \text{ кДж.}$$

Удельный расход теплоносителя на тепловую обработку изделия:

$$G_{уд} = \frac{G_1}{V_{БК}}, \quad (42)$$

$$G_{уд} = 1534,66 / 0,99 = 1550,16 \text{ кг.}$$

Чтобы поддерживать требуемый режим во время тепловлажностной обработки используется брезентовый чехол, которым накрывается форма трубы. В качестве теплоносителя для технологических целей используется пар. Как видно из таблицы 19, основные траты теплоты уходят на обогрев сухой части бетонной смеси и воды. Это указывает на то, что форма при ТВО работает эффективно.

### 5.6 Определение и подбор технологического оборудования

Оборудованием для формовочных цехов (отделений) являются: машины и агрегаты для укладки и уплотнения бетонной смеси и заглаживания поверхности свежееотформованных изделий; установки для натяжения и укладки арматуры, кантования, чистки, смазки форм и отделки изделий; формы (формовагонетки) и формовочная оснастка, оборудование для тепловой обработки (автоматические стойки, механические крышки и двери др.), внутрицеховые транспортные средства для обслуживания всех постов, включая склад готовой продукции (грузоподъемные механизмы, формоукладчики, автоматические траверсы, приводы конвейеров, толкатели, подъемники – снижатели, передаточные тележки и тележки для подвоза арматуры, комплектующих деталей, вывоза готовых изделий на склады и др.), а также бады для бетонной смеси, мусора, отходов арматуры, ручной инструмент.

На рассматриваемой технологической линии по производству напорных железобетонных виброгидропрессованных труб было подобрано технологическое оборудование [9], представленное в таблице 6. Далее опишем принцип работы и технические характеристики основного оборудования, предназначенного для производства напорных железобетонных виброгидропрессованных труб.

Таблица 6 – Технологическое оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Индекс	Кол-во, шт	Мощность, кВт
1	Установка автоматическая для штамповки полос	СМЖ-94	1	–
2	Станок для изготовления спиральных каркасов	РТ-195	4	21,1
3	Установка для резки продольной арматуры	СМЖ-172	1	5,6
4	Установка для натяжения продольной арматуры	Л1Ф5	2	1,12
5	Станок для холодной высадки анкерных головок	СМЖ-155	1	2,8
6	Траверса для снятия арматурного каркаса	СМЖ-372	1	–
7	Траверса для установки арматурного каркаса	СМЖ-374	1	–
8	Установка для приготовления эмульсионной смазки	СМЖ-18Б	1	–
9	Гайковерт пневматический	ИП-3205Б	16	–
10	Приспособление для вулканизации резиновых чехлов	6873/24АЭ	2	0,16
11	Установка для вулканизации раструбообразователей	7715/1	1	32
12	Приспособление для съема и натяжения резинового чехла и раструба	6873/18БЭ	1	–
13	Форма для труб	СМЖ-89Д-01	38	–
14	Бетоноукладчик	СМЖ-96Д	2	5,46
15	Конус загрузочный	6873/40БЭ	6	–
16	Вибратор пневматический	ВП-5А	18	–
17	Приспособления крепежные для форм	6873/17АЭ	10	–
18	Установка гидропрессования	6873/21СА (УГП-38)	2	38
19	Регулятор высокого давления	РДЖТ-1, кат.2	10	–
20	Установка вакуумная	УВ-0,5/0,25- 85	2	1,7
21	Чехол для пропарки	6873/44АЭ	10	–
22	Траверса поста распалубки	СМЖ-378	3	–
23	Захват автоматический	СМЖ-102А	2	–
24	Траверса со стропами	СМЖ-379	1	–
25	Машина для шлифовки раструбов	СМЖ-540А	2	42,5
26	Установка для гидроиспытания труб	СМЖ-97А	2	18
27	Шаблон для измерения раструбного конца труб	6873/49АЭ	1	–

1. Автоматический станок СМЖ-94, предназначенный для штамповки полос, используется для производства полуфабриката в виде разделительных полос. Они используются при навивке спиральной арматуры. Она является вспомогательной деталью и применяется для сохранения постоянного шага навивки спиралей и придания жесткости арматурному каркасу. Данная установка включает в себя штамп, механизмы для резки и подачи полосы, приемного стола, приводной тяги. Полоса штампуются при помощи однокривошипного открытого прессы. На столе этого прессы имеется блок штампа, который выгибает и пробивает отверстия в полосе. Также перед прессом на стойке имеется механизм подачи. Он точно такой же, как и в блоке штампа. И ещё имеется конечный выключатель с направляющей вилкой. Механизмы подачи стойки и блока штампа соединены с приводной тягой, которая связана с кривошипом прессы. В шарнирах этих тяг монтированы шарикоподшипники, которые служат для уменьшения износа этой детали. Данная установка производит в смену 500 м полосы.

2. Станок для резки продольной проволоки включает в себя: механизма подачи проволоки, столов, двух механизмов реза проволоки (обеспечивает соблюдение допуска по длине прутков 0,5 мм), приводных гидроцилиндров, насосной станции, трубопроводов и электрооборудования. Станок автоматизирован.

Таблица 7 – Технические характеристики станка установки

Показатели	Величина
Производительность, прутков в час	200
Диаметр проволоки, мм	5...6
Длина прутков, мм	5347, 5358, 5360
Мощность общая установки, кВт	5,6
Габаритные размеры, мм:	
Длина	6850
Ширина	1800
Высота	1540
Масса, кг	1735

3. В напорных виброгидропрессованных трубах используется преднапряженная продольная арматура. Напряжение продольной проволоки получается путем её натяжения при помощи гидродомкрата. Гидродомкрат установлен на пово-

ротной кронштейне передвижной насосной станции. Она соединена с гидродомкратом посредством 2х гибких шлангов. Насосная станция включает в себя электродвигатель, лопастной насос Л1Ф5, масляный бак, тележку и поворотный кронштейн с противовесом. Для того, чтобы следить за давлением, создаваемым насосом, используется манометр.

Таблица 8 – Технические характеристики гидродомкрата

Показатели	Величина
Максимальное натяжение усилия, кН	40
Давление в системе, кг/см <sup>2</sup>	65
Длина рабочего хода, мм	50
Диаметр напрягаемых стержней, мм	3...5
Количество одновременно натягиваемых стержней, шт	1
Приводная мощность насоса Л1Ф5, кВт	1,12
Масса, кг	32,7

4. Установка для производства спирального каркаса РТ-195 используется для навивки спирального каркаса. Алгоритм работы установки следующий: проволока с бухтодержателя подаётся к приёмным роликам, которые находятся на каретке, и проходит по направляющим роликам суппорта поперечной подачи на ротор. На данный станок монтируется ротор с требуемым диаметром для изготовления каркаса. На направляющие ротора укладываются штампованные полосы, которые закрепляются специальными зажимами. Первые витки навиваются на малых оборотах. При навивке конической части каркаса каретка суппорта получает поперечное перемещение от шестеренки, которая расположена в зацеплении с неподвижной рейкой. Закатывающий ролик соприкасается с наматываемой проволокой. Там, где каркас переходит с конической части на цилиндрическую, шестерня суппорта сходит с неподвижной рейки. После этого каретка суппорта перестаёт двигаться. Последние два витка кладутся вплотную и связываются проволокой.

Таблица 9 – Технические характеристики станка РТ-195

Показатели	Величина
Производительность, каркасов в смену	7...10
Мощность электродвигателя, кВт	21,1
Габаритные размеры, мм:	
Длина	9480
Ширина	2805
Высота	1880
Масса, кг	11360

5. Станок СМЖ-155 (6873/11М) для высадки головок на высокопрочной проволоке предназначен для холодной высадки анкерных головок на концах высокопрочной проволоки Ø 4...6 мм. Станок состоит из станины на колесах, кривошипно-шатунного механизма, механизма зажатия плашек, пуансона, электромотора с клиноременной передачей и маховиком.

Таблица 10 – Технические характеристики станка СМЖ-155

Показатели	Величина
Число ходов пуансона в 1 мин	До 20
Рабочий ход пуансона, мм	6
Мощность электродвигателя, кВт	2,8
Габаритные размеры, мм:	
Длина	1220
Ширина	700
Высота	1250
Масса, кг	520

6. Оборудование 6873/21СА используется для создания давления воды, подаваемой в полость между внутренним сердечником и резиновым чехлом. Вследствие чего, бетонная смесь уплотняется. Получаем эффект гидропрессования бетонной смеси. Данное оборудование состоит из 2х емкостей высокого давления, 2х насосов, 2х манометров и компрессора. Давление нагнетается при помощи компрессора и насоса. После того, как давление поднялось до требуемого значения, компрессор и насосы автоматически выключаются. За это действие отвечают электроконтактные манометры. Неизменное давление, которое нужно для процес-

са опрессовки изделия, поддерживается регулятором высокого давления РДЖТ-1, который в автоматическом режиме поддерживает давление воды.

7. Данный регулятор давления РДЖТ-1 используется для регулирования давления воды в автоматическом режиме при гидропрессовании напорных труб. Этот регулятор конструктивно состоит из системы узлов, которые смонтированы на щите. Главной частью регулятора является стабилизатор давления, который находится в центре щита. По бокам от стабилизатора на щите установлены 3 запорных клапана: клапан «слив», чтобы был прямой дренаж из формы для формирования трубы; клапан «наполнение», чтобы была прямая подача воды в форму, и клапан «питание», для подвода давления к регулятору. В верхней части щита устанавливается манометр, входящий в комплект регулятора и контролирующий давление в форме. Сзади на щите ниже клапана «питание» крепится фильтр для очистки воды, поступающей к регулятору. Регулятор подсоединяется к гидравлической системе, к форме, на слив и к установке высокого давления 6873/21СА. Давление в форме регулируется стабилизатором. Принцип его работы основан на сравнении усилий настроечной пружины и измерительного элемента (мембраны), который воспринимает давление регулируемой среды. Эти усилия сравниваются на коромысле, опирающемся на ножевую опору. Полость измерительной мембраны, питание которой осуществляется через постоянный дроссель, подсоединяется к форме с отформованной трубой. Давление в этой полости определяется величиной слива через сопло. Выходное отверстие сопла прикрывается шариком, на который воздействует нижний конец коромысла. При отклонении давления воды в форме от заданной величины изменяется усилие, развиваемое измерительной мембраной, вследствие чего поворачивается коромысло на ножевой опоре. При этом изменяется положение шарика относительно сопла, приводящее к восстановлению заданного значения давления вследствие изменения величины расхода через сопло.

8. Виброгидропрессованные трубы изготавливают с помощью бетоноукладчиков СМЖ-96Е и СМЖ-96Д, которые используются при изготовлении труб диаметров 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400 и 1600 мм. Бетоноукладчик СМЖ-96Д

состоит из бетоноукладчика СМЖ-96Е и самоходной тележки СМЖ-96 Д.01.00.000 для передвижения. Бетоноукладчик СМЖ-96Е применяется для замены бетоноукладчика СМЖ-96А на действующих заводах там, где габариты существующих строений не позволяют устанавливать бетоноукладчик СМЖ-96Д. Бетоноукладчик СМЖ-96Е состоит из бункера с опорной рамой, ленточного питателя с приводом, привода передвижения и шкафа с электрооборудованием. Опорная рама, выполненная в виде сварной конструкции совместно с бункером, смонтирована на двух скатах с колесами, один из которых приводной, другой холостой. На нижней площадке рамы установлены приводы питателя и передвижения. Передача вращения от приводов к исполнительным механизмам осуществляется цепными передачами. Натяжение цепи от привода к питателю осуществляется натяжной звездочкой, натяжение цепи от привода к приводному скату – перемещением самого привода. Для равномерной выдачи бетонной смеси из бункера предусмотрен челюстной затвор с приводом от пневмоцилиндра, управляемый с пульта. Для побуждения бетонной смеси на бункере установлен вибратор ИВ-99. Бетонная смесь укладывается в форму ленточным питателем с задним приводным барабаном. Ленточный питатель смонтирован на стреле, установленной на опорной раме. Натяжение ленты осуществляется передвижением заднего приводного барабана. По бокам лента ограничена бортами. У переднего барабана установлен скребок для очистки ленты от налипшего бетона.

Для обслуживания бункера предусмотрена площадка со шкафом электрооборудования. Управление бетоноукладчиком осуществляется с подвесного пульта. При необходимости увеличения вместимости бункера предусмотрена возможность наращивания его высоты специальной рамкой. Питатель бетоноукладчика может передвигаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что улучшает условия выдачи бетонной смеси в форму и позволяет обслуживать одним бетоноукладчиком два формовочных поста. Самоходная тележка позволяет бетоноукладчику СМЖ-96Е перемещаться на ней вдоль оси питателя, а сама тележка перемещается по рельсам вместе с бетоноукладчиком в направлении, перпенди-



кулярном оси питателя. На раме самоходной тележки размещены привод для ее передвижения и рельсовый путь для бетоноукладчика СМЖ-96Е.

Проведем расчет основного технологического оборудования – бетоноукладчика СМЖ-96Д. Определение производительности бетоноукладчика при заполнении формы бетонной смесью:

$$П_V = 60 \frac{V_{изд} \cdot z_{изд} \cdot k_p \cdot k_{изд}}{t_{ц}}, (м^3/ч) \quad (43)$$

где  $V_{изд}$  – объём изделия,  $м^3$ ;  $z_{изд}$  – количество одновременно формуемых изделий, шт,  $z_{изд} = 1 - 2$ ;  $k_p$  – коэффициент разрыхления смеси,  $k_p = 1,12 - 1,2$ ;  $k_B$  – коэффициент использования машины по времени,  $k_B = 0,85 - 0,95$ ;  $t_{ц}$  – продолжительности цикла укладки смеси в формы, мин.

$$t_{ц} = t_n + t_{п} + t_y + t_b, (мин) \quad (44)$$

где  $t_n$  – продолжительность наполнения бункера укладчика смесью, мин;  $t_{п}$  – продолжительность передвижения укладчика со смесью к форме, мин;  $t_y$  – продолжительность укладки смеси в форму, мин;  $t_b$  – продолжительность перемещения укладчика в исходное положение под загрузку, мин.

Продолжительность наполнения бункера укладчика смесью рассчитывается:

$$t_n = \frac{V_б \cdot k_y \cdot k_{п}}{П_{лп}}, (мин) \quad (45)$$

$V_б$  – вместимость бункера укладчика,  $м^3$ ;  $k_y$  – коэффициент уплотнения смеси,  $k_y = 1,12 - 1,2$ ;  $k_{п}$  – коэффициент, учитывающий потери смеси при загрузке в бункер,  $k_{п} = 1,01$ ;  $П_{лп}$  – производительность ленточного питателя,  $м^3/мин$ ;

$$V_б = \frac{V_{изд}}{0,8}, (м^3) \quad (46)$$

$$V_б = \frac{0,99}{0,8} = 1,24 м^3.$$

Продолжительность передвижения укладчика со смесью к форме:

$$t_{п} = \frac{L}{60 \cdot v_{укл}}, (мин) \quad (47)$$

где  $L$  – расстояние от загрузочного конвейера до поста формования, м;  $v_{укл}$  – скорость передвижения укладчика, м/с.

Продолжительность укладки смеси в форму:

$$t_y = \frac{(L_\Phi + L_{\text{укл}}) \cdot n_{\text{пр}}}{60 \cdot v_{\text{укл}}}, (\text{мин}) \quad (48)$$

где  $L_\Phi$  – максимальная длина формы, м ( $L_\Phi = 1,1$  м – диаметр формы, так как труба формируется в вертикальном положении);  $L_{\text{укл}}$  – база бетоноукладчика, м;  $n_{\text{пр}}$  – количество проходов бетоноукладчика при укладке бетонной смеси,  $n_{\text{пр}} = 2-3$ .

Продолжительность перемещения укладчика в исходное положение под загрузку:

$$t_B = t_H (\text{мин}) \quad (49)$$

$$t_y = \frac{(1,1+2,3) \cdot 3}{60 \cdot 0,24} = 0,71 \text{ мин};$$

$$t_\Pi = \frac{5}{60 \cdot 0,24} = 0,35 \text{ мин};$$

$$t_H = \frac{1,24 \cdot 1,16 \cdot 1,01}{0,103} = 14,11 \text{ мин};$$

$$t_\Sigma = 14,11 + 0,35 + 0,71 + 14,08 = 29,25 \text{ мин};$$

$$P_V = 60 \frac{0,99 \cdot 2 \cdot 1,16 \cdot 0,9}{29,25} = 4,24 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определим мощность, необходимую для передвижения бетоноукладчика:

$$N_B = \frac{W \cdot v_{\text{укл}}}{1000\eta} = \frac{(P_K + P_B) \cdot \beta \cdot v_{\text{укл}} \cdot \left(\frac{2\mu}{D} + \frac{f \cdot d}{D}\right)}{1000\eta}, (\text{кВт}) \quad (50)$$

где  $W$  – сила сопротивления передвижения бетоноукладчика, Н;  $\eta$  – КПД привода,  $\eta=0,8-0,9$ ;  $P_K$  – сила давления от массы конструкции бетоноукладчика, Н;  $P_B$  – сила давления от бетонной смеси в бункерах, Н;  $\mu$  – коэффициент качения ходовых колес, м,  $\mu=0,0008-0,001$  м;  $f$  – коэффициент трения в цапфах колес,  $f = 0,08$ ;  $d$  – диаметр цапф колес, м,  $d=0,06$  м;  $D$  – диаметр колес бетоноукладчика, м,  $D = 0,3$  м;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсовый путь,  $\beta=2,5-3$ .

$$N_B = \frac{(19620 + 32030) \cdot 2,7 \cdot 0,24 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,0005}{0,3} + \frac{0,08 \cdot 0,06}{0,3}\right)}{1000 \cdot 0,8} = 0,79 \text{ кВт}$$

Определение мощности привода ленточного питателя бетоноукладчика:

$$N_{\text{лп}} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{\eta_1} \cdot m, (\text{кВт}) \quad (51)$$

где  $m$  – коэффициент запаса мощности,  $m = 1,1 - 1,3$ ;  $\eta_1$  – КПД передачи привода,  $\eta_1 = 0,8 - 0,85$ ;  $N_1$  – мощность, расходуемая на преодоление трения бетонной смеси о борта, кВт;  $N_2$  – мощность для преодоления трения ленты питателя о поддерживающий металлический лист, кВт;  $N_3$  – мощность, требуемая для транспортирования бетонной смеси на ленте, кВт.

Мощность, расходуемая на преодоление трения бетонной смеси о борта бетоноукладчика:

$$N_1 = \frac{W_1 \cdot v_{лп}}{1000}, (\text{кВт}) \quad (52)$$

где  $W_1$  – сила трения бетона о борта питателя, Н;  $v_{лп}$  – скорость движения ленточного питателя, м/с.

Сила трения бетона о борта питателя:

$$W_1 = 20k_1 \cdot P_1, (\text{Н}) \quad (53)$$

где  $k_1$  – коэффициент трения бетона по стали,  $k_1 = 0,8$ ;  $P_1$  – сила бокового давления бетона на борта, Н.

Сила бокового давления бетона на борта:

$$P_1 = F_1 \cdot q_1, (\text{Н}) \quad (54)$$

где  $F_1$  – площадь 1 борта, м<sup>2</sup>;  $q_1$  – давление бетонной смеси на борта, Па.

Площадь 1 борта:

$$F_1 = h \cdot l_6, (\text{м}^2) \quad (55)$$

где  $l_6$  – длина бортов, м;  $h$  – высота бортов, м.

$$F_1 = 0,11 \cdot 2,86 = 0,31 \text{ м}^2.$$

Давление бетонной смеси на борта:

$$q_1 = h \cdot \rho \cdot \Theta, (\text{Па}) \quad (56)$$

где  $\rho$  – плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $\Theta$  – коэффициент подвижности бетонной смеси,  $\Theta=0,6 - 0,7$ .

$$q_1 = 0,11 \cdot 2300 \cdot 0,6 = 151,8 \text{ Па};$$

$$P_1 = 0,31 \cdot 151,8 = 47,06 \text{ Н};$$

$$W_1 = 20 \cdot 0,8 \cdot 47,06 = 752,96 \text{ Н};$$

$$N_1 = \frac{752,96 \cdot 0,103}{1000} = 0,08 \text{ кВт}.$$

Мощность для преодоления трения ленты питателя о поддерживающий металлический лист:

$$N_2 = \frac{W_2 \cdot v_{лп}}{1000}, (\text{кВт}) \quad (57)$$

где  $W_2$  – сила трения ленты о поддерживающий лист, Н.

Сила трения ленты о поддерживающий лист:

$$W_2 = 10k_2 \cdot P_2, (\text{Н}) \quad (58)$$

где  $k_2$  – коэффициент трения резиновой ленты о сталь,  $k_2 = 0,6$ ;  $P_2$  – сила активного давления бетона на ленту, Н.

Сила активного давления бетона на ленту:

$$P_2 = F_2 \cdot q_2, (\text{Н}) \quad (59)$$

где  $F_2$  – площадь активного давления,  $\text{м}^2$ ;  $q_2$  – давление бетонной смеси, Па.

Площадь активного давления:

$$F_2 = b \cdot l, (\text{м}^2) \quad (60)$$

где  $b$  – ширина отверстия бункера, м;  $l$  – длина отверстия бункера, м.

Ширина отверстия бункера:

$$b = 0,8 \cdot b_{лп}, (\text{м}) \quad (61)$$

где  $b_{лп}$  – ширина ленты питателя,  $b_{лп} = 0,4$  м.

$$b = 0,8 \cdot 0,4 = 0,32 \text{ м.}$$

Длина отверстия бункера:

$$l = 0,4 \cdot l_{лп}, (\text{м}) \quad (62)$$

где  $l_{лп}$  – ширина ленты питателя,  $l_{лп} = 2,86$  м.

$$l = 0,4 \cdot 2,86 = 1,14 \text{ м.}$$

$$F_2 = 0,32 \cdot 1,14 = 0,36 \text{ м}^2.$$

Давление бетонной смеси:

$$q_2 = \frac{\rho \cdot R}{f_1 \cdot \theta}, (\text{Па}) \quad (63)$$

где  $R$  – гидравлический радиус выпускного отверстия бункера, м,  $R=0,74$  м;  $f_1$  – коэффициент внутреннего трения бетонной смеси,  $f_1=1,0$ .

$$q_2 = \frac{2300 \cdot 0,74}{1 \cdot 0,6} = 2836,67 \text{ Па.}$$

$$P_2 = 0,36 \cdot 2836,67 = 1021,20 \text{ Н};$$

$$W_2 = 10 \cdot 0,6 \cdot 1021,20 = 6127,21 \text{ Н};$$

$$N_2 = \frac{6127,21 \cdot 0,103}{1000} = 0,63 \text{ кВт.}$$

Мощность, требуемая для транспортирования бетонной смеси на ленте:

$$N_3 = \frac{W_3 \cdot v_{лп}}{1000}, \text{ (кВт)} \quad (64)$$

где  $W_3$  – сила сопротивления перемещению бетонной смесью на ленте, Н.

$$W_3 = 10b_{лп} \cdot h \cdot l_{лп} \cdot \rho \cdot k_3, \text{ (Н)} \quad (65)$$

где  $k_3$  – приведенный коэффициент сопротивления роlikоопор ленты питателя,  $k_3 = 0,035 - 0,04$ .

$$W_3 = 10 \cdot 0,4 \cdot 0,11 \cdot 2,86 \cdot 2300 \cdot 0,04 = 115,77 \text{ Н.}$$

$$N_3 = \frac{115,77 \cdot 0,103}{1000} = 0,01 \text{ кВт.}$$

$$N_{лп} = \frac{0,08 + 0,63 + 0,01}{0,8} \cdot 1,2 = 1,08 \text{ кВт.}$$

Таблица 11 – Технические характеристики бетоноукладчика СМЖ-96Д

Показатели	Величина
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	4,24
Вместимость бункера с надставкой, м <sup>3</sup>	1,24
Скорость передвижения, м/с:	
Бетоноукладчика	0,24
Самоходная тележка	0,24
Скорость питателя, м/с	0,103
Вылет питателя, м	1,75
Колея, мм:	
Бетоноукладчика	1115
Самоходная тележка	1480
Установленная мощность, кВт	5,46
Габаритные размеры, мм:	
Высота	2670
Ширина	1340
Длина	3750
Масса, кг	2000

9. Машина для шлифовки раструбов СМЖ-540А предназначена для шлифовки внутренней поверхности раструбной части труб. Шлифовка является доводочной операцией для получения нужного размера и геометрии внутренней поверхности раструба, что обеспечивает надежное уплотнение стыка труб посредством резинового кольца при монтаже трубопровода.

Таблица 12 – Технические характеристики машины СМЖ-540А

Показатели	Величина
Производительность, шт/ч	3
Время полного цикла обработки трубы, мин	20
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	1,8
Мощность электродвигателя, кВт	42,5
Масса, кг	10500

10. Установка для гидроиспытания труб СМЖ-97А предназначена для испытаний труб на водонепроницаемость и трещиностойкость с целью определения их качества.

Таблица 13 – Технические характеристики станка СМЖ-97А

Показатели	Величина
Диаметр испытываемой трубы, мм	500...1200
Максимальное время испытания, Мпа	2,6
Установленная мощность, кВт	18
Масса, кг	12410

11. Загрузочный конус 6873/40БЭ предназначен для равномерного распределения бетонной смеси по форме во время ее загрузки бетоноукладчиком при изготовлении напорных труб. Корпус конуса из сварной листовой стали. На нижней части корпуса закрепляется пневматический вибратор С-870, действие которого аналогично действию пневматического вибратора ВП-5. Для удобства обслуживания на корпусе имеются рукоятки. Загрузочный конус устанавливают на верхнюю часть формы перед ее загрузкой бетонной смесью и включают пневматический вибратор. Бетонная смесь, равномерно выдаваемая бетоноукладчиком, попа-

дает на воронку загрузочного конуса и побуждаемая пневмовибратором равномерно распределяется по его периметру, стекая в форму.

12. Траверса поста распалубки СМЖ-378 предназначена для подвески на крюк мостового крана при транспортировании форм напорных труб  $\varnothing 500 \dots 1200$  мм с изделием или без него в вертикальном положении, а также для кантования наружной формы с изделием и транспортирования её в вертикальном и горизонтальном положениях.

13. Захват автоматический для труб СМЖ-102А предназначен для автоматической строповки напорных труб при выемке их из формы и подаче на транспортные тележки, а также для ручной строповки труб при транспортировании их к машине для шлифовки раструбов и установке для гидравлического испытания.

Для определения времени использования мостовых кранов подсчитаем их загруженность с учётом норм расчёта крановых операций по ОНТП 07-85 [4]:

- коэффициент использования скорости моста крана при длине перемещения: до 10 м - 0,5; от 10 до 30 м - 0,8; более 30 м – 1;
- коэффициент использования скорости тележки крана при длине перемещения: до 5 м – 0,5; до 15 м – 0,8; более 15 м – 1;
- коэффициент использования крана по времени: при одном кране в пролёте – не более 0,8; при двух или более кранах – не более 0,7;
- продолжительность извлечения изделий из формы, включая строповку – не более 60 секунд;
- продолжительность установки изделия в штабель или на тележку, включая расстроповку – не более 40 секунд;

Таблица 14 – Время использования мостовых кранов

Номер крана	Наименование крановой операции	Время на одну операцию, сек	Количество операций в смену	Продолжительность операций, сек
1	Строповка	50	60	3000
	Перемещение крана	60	90	5400
	Расстроповка	40	60	2400
	ИТОГО:			10800
2	Строповка	50	40	2000
	Перемещение крана	60	60	3600
	Расстроповка	40	40	1600
	ИТОГО:			7200

Коэффициент использования крана во времени:

$$K_{в} = \sum t_i / t_{см} , \quad (66)$$

где  $t_i$  – время выполнения краном  $i$ -ой операции, мин.  $t_{см}$  – длительность смены, мин.

$K_{в}$  не должен превышать 0,8 при одном кране в пролете и 0,7 при двух и более кранах. Как правило, более трех кранов в одном пролете не устанавливают.

$$K_{в1} = 10800 / 28800 = 0,375$$

$$K_{в2} = 7200 / 28800 = 0,25$$

Грузоподъемность кранов:

$$Q_k = N_1 + N_2 + N_3 , \quad (67)$$

где  $N_1$  – масса изделия, т;  $N_2$  – масса формы, т;  $N_3$  – масса траверсы, строп и т.п.;

Примем суммарную массу строп 150 кг, а масса траверсы 400 кг, тогда  $N_3 = 0,4 + 0,15 = 0,55$  т.

Согласно ГОСТ 12586.0-83 масса трубы равна 2,48 т.

Согласно ГОСТ 13981-87 масса формы не более 6,3 т.



$$Q_k = 2,48 + 6,3 + 0,55 = 9,33 \text{ т.}$$

Приходим к выводу, что требуется использовать кран с минимальной грузоподъемностью 10 т. В соответствии с полученной грузоподъемностью принимается мостовой кран со следующими техническими характеристиками.

Таблица 15 – Технические характеристики мостового крана

Показатели	Величина
Грузоподъемность, т	10
Скорость перемещения крюка м/мин	8
Установленная мощность, кВт	17,5
Масса, кг	17500

### 5.7 Определение количества технологических постов

Для определения количества технологических постов в соответствии с перечнем элементарных процессов и технологических операций определяем трудоёмкость немеханизированных операций и длительность переходов технологического оборудования, выполняющего конкретные операции и общую продолжительность каждого элементарного процесса [7].

Таблица 16 – Продолжительность элементных процессов

Наименование элементных процессов	Наименование операций, переходов	Трудоёмкость, чел-мин	Кол-во работающих	Продолжительность выполнения, мин	Длительность перехода, мин	Продолжительность каждого элементного процесса
Пост распалубки	Обрезка анкерных головок	4	2	2	-	13
	Снятие анкерных колец	4	2	2	-	
	Раскручивание пружинных болтов	8	4	2	-	
	Съем верхней полуформы	1	1	1	0,5	
	Снятие калибровочного кольца	4	4	2	-	
	Срезка концов продольной арматуры	6	4	1,5	-	
	Извлечение трубы из формы	1	1	1	1	
Пост армирования	Производство разделительных полос	0,5	1	0,5	-	2,5
	Навивка спирального каркаса	1	1	1	-	
	Резка продольной арматуры	1	1	1	-	
Подготовка формы	Перемещение автоматич.	-	-	-	1,5	12,5
	Чистка всех деталей	4	2	2		
	Сборка внешней обечайки	6	2	3		
	Смазка ее внутренней поверхности	3	2	1,5		
	Установка в форму спирального каркаса	2	2	1	0,5	
	Установка и натяжение продольных стержней	0,2	2	1	2	

Окончание таблицы 16

Пост комплектации	Перемещение автоматич.	-	-	-	1,5	10
	Подготовка сердечника	8	2	4	-	
	Смазка сердечника	4	2	2	-	
	Установка обечайки на сердечник	4	2	2	0,5	
Пост формования	Перемещение автоматич.	-	-	-	1,5	24,5
	Установка вибраторов и загрузочного конуса	6	2	3	-	
	Подготовка БУ	2	2	1	1,5	
	Укладка и уплотнение БС в форму	15	1	1	15	
	Снятие вибраторов и загрузочного конуса	3	2	1,5	-	
Пост опрессовки и тепловой обработки	Перемещение автоматич.	-	-	-	1,5	339
	Подключение к системам высокого и низкого давления	4	2	2	-	
	Опрессовка	0,5	1	0,5	30	
	Тепловая обработка	-	-	-	300	
	Отводка воды и снятие чехла	2	2	1	1	
	Создание вакуума	1	1	1	1,5	
	Снятие обечайки	0,5	1	0,5	1	
Пост доводки	Перемещение автоматич.	-	-	-	1,5	11,5
	Шлифовка трубы	4	2	2	-	
	Калибровка раструба	4	2	2	-	
	Гидравлические испытания	10	2	5	-	
	Погрузка на самоходную тележку	-	-	-	1	

## 5.8 Определение площади одной технологической линии

В площадь технологической линии включается площадь, занятая формовочной линией со всеми технологическими постами, транспортные устройства, камеры тепловой обработки, площадки для ремонта, переоснастки и складирования запаса форм, ремонта, приема и выдержки готовых изделий. При этом необходимо учитывать ширину проходов и проездов:

- основных проходов в цехах не менее 1,5 м;
- проходов между оборудованием не менее 1,2 м;
- проходов между строительными конструкциями и оборудованием не менее 1,0 м;
- вокруг оборудования для его обслуживания и ремонта не менее 0,7 м.

Ширина проходов у рабочих мест должна быть увеличена на 0,75 м при одностороннем расположении рабочих мест, и не менее чем на 1,5 м – при двухстороннем. Общую площадь проходов в цехе примем  $S_{\text{прох}} = 432 \text{ м}^2$ .

Площадь, занятая технологической линией, определяется как сумма площадей, занятых основным технологическим оборудованием:

- установка для резки продольной арматуры,  $S = 13 \text{ м}^2$ ;
- установка автоматическая для штамповки полос,  $S = 1,6 \text{ м}^2$ ;
- станок для изготовления спиральных каркасов,  $S = 106,8 \text{ м}^2$ ;
- станок для холодной высадки головок,  $S = 1,5 \text{ м}^2$ ;
- гидродомкрат для натяжения продольной арматуры,  $S = 4 \text{ м}^2$ ;
- бетоноукладчик,  $S = 16,2 \text{ м}^2$ ;
- установка высокого давления для опрессовки труб,  $S = 10,8 \text{ м}^2$ ;
- машина для шлифовки раструбов,  $S = 36,8 \text{ м}^2$ ;
- установка для гидроиспытания труб,  $S = 25 \text{ м}^2$ ;

$$S_{\text{об}} = 13 + 1,6 + 106,8 + 1,5 + 4 + 16,2 + 10,8 + 36,8 + 25 = 215,7 \text{ м}^2.$$

В площадь технологической линии входит также эстакада или другое устройство для подачи бетонной смеси в формовочный цех и транспортная линия для её подвоза на посты формования, а также площади, на которых размещаются:

– площадка для выдерживания распалубленных изделий в цехе при температуре наружного воздуха ниже 0 °С после окончания тепловой обработки для размещения изделий. Площадь, занимаемая одной трубой составит 6 м<sup>2</sup>. За 12ч формируется 48 изделий, значит, потребуется площадь размером:

$$S = 48 \cdot 6 = 288 \text{ м}^2.$$

– участок текущего ремонта форм – на каждые 100 т форм, находящихся в эксплуатации, 70 м<sup>2</sup> (S<sub>2</sub>);

– участок складирования форм и оснастки – на каждые 100 т форм, находящихся в эксплуатации, предусматривается площадка, 50 м<sup>2</sup> (S<sub>3</sub>);

– участок для ремонта изделий, на котором размещается 5% суточного выпуска изделий, 60 м<sup>2</sup> (S<sub>4</sub>);

– площадь, занятая транспортными средствами (самоходная тележка), 20 м<sup>2</sup> (S<sub>5</sub>);

– площадь под запас арматурных изделий, 20 м<sup>2</sup> (S<sub>6</sub>);

– площадь бытовых помещений:  $S_7 = 2 \cdot 18 \cdot 6 = 216 \text{ м}^2$ .

$$S_{\text{доп}} = 288 + 70 + 50 + 60 + 20 + 20 + 216 = 724 \text{ м}^2.$$

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{об}} + S_{\text{доп}} + S_{\text{прох}} = 215,7 + 724 + 432 = 1371,7 \text{ м}^2.$$

Как правило, технологические линии размещаются в унифицированном типовом пролете – УТП –1 размером 144×18 м. Площадь одного типового пролета составляет  $S_{\text{ц}} = 2592 \text{ м}^2$ .

Количество технологических линий, размещаемых в одном типовом пролете определяется по формуле:

$$N = S_{\text{ц}} / S_{\text{общ}}. \quad (68)$$

$$N = 2592 / 1371,7 = 1,89.$$

Таким образом, в цехе размещается одна технологическая линия.

## 5.9 Определение числа работающих

В состав производственной бригады технологической линии входят рабочие, непосредственно выполняющие технологические операции, а также машинисты и операторы всех видов технологического оборудования, включая мостовые краны и передаточные тележки [7]. Профессии и тарифные разряды рабочих, занятых на технологической линии занесены в таблицу 17.

Таблица 17 – Состав производственной бригады в смену

Технологический пост, операция	Наименование профессии	Количество, чел	Разряд
Пост распалубки			
Обрезка анкерных головок	Бетонщик на распалубке форм	2	4
Снятие анкерных колец			
Раскручивание пружинных болтов			
Съем верхней полуформы			
Снятие калибровочного кольца			
Срезка концов арматуры			
Извлечение трубы из формы			
Строповка изделий	Такелажник	1	3
Строповка форм			
Пост армирования			
Производство разделительных полос	Арматурщик	1	4
Навивка спирального каркаса		2	4
Резка продольной арматуры		1	4
Пост подготовки формы			
Чистка, сборка и смазка обечайки	Формовщик	2	4
Установка спирального каркаса	Арматурщик	2	4
Установка продольных стержней			

Окончание таблицы 17

Технологический пост, операция	Наименование профессии	Количество, чел	Разряд
Пост комплектации			
Подготовка сердечника	Формовщик	2	4
Смазка			
Установка обечайки			
Пост формования			
Подготовка БУ	Машинист БУ	2	4
Установка вибраторов и конуса	Формовщик	2	4
Укладка и уплотнение БС			
Снятие вибраторов и конуса			
Пост опрессовки и ТВО			
Подключение к системам давления	Пропарщик	1	3
Опрессовка			
Отвод воды			
Создание вакуума			
Снятие обечайки			
Строповка изделия	Такелажник	1	3
Строповка сердечника			
Пост доводки			
Шлифовка трубы	Отделочник	2	3
Калибровка раструба			
Гидравлические испытания	Бетонщик	2	4
Перемещение изделий и каркасов			
Перемещение труб, каркасов, форм	Машинист крана	2	4
Промежуточный склад готовой продукции			
Ввоз арматурных каркасов	Машинист самоходной тележки	1	4
Итого:		26	

Выработка в год на одного рабочего ( $\text{м}^3/\text{чел}$ ):

$$B = P/b, \quad (69)$$

где P – годовая производительность линии,  $\text{м}^3$ ; б – суточное число рабочих в бригаде.

$$B = 43486,5 / 26 = 1672,56 \text{ м}^3/\text{чел}$$

Средний тарифный разряд рабочей бригады определяется как средневзвешенная величина тарифных разрядов членов бригады:

$$Tp = b_i \cdot p_i / i, \quad (70)$$

где  $b_i$  – число рабочих  $i$ -го разряда,  $p_i$  – величина  $i$ -го разряда.

$$Tp = ((21 \cdot 4) + (5 \cdot 3)) / 26 = 3,81$$

Затраты труда на единицу продукции:

$$r = R \cdot c \cdot h / P \cdot n_c / i, \quad (71)$$

где  $R$  – явочное число рабочих в бригаде в сутки, чел;  $c$  – число рабочих суток в году;  $h$  – число рабочих часов в сутки;  $P$  – годовая производительность,  $\text{м}^3$ ;  $n_c$  – число смен в сутки.

$$r = 78 \cdot 246 \cdot 24 / 43486,5 \cdot 3 = 460512 / 130459,5 = 3,53 \text{ (чел} \cdot \text{час/м}^3\text{)}$$



## 6 РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА

Средний уровень прочности определяется:

$$R_y = R_T \cdot K_{мп} = B_H \cdot K_T \cdot K_{мп} \quad (72)$$

где  $R_T$  – требуемая прочность, МПа;  $B_H$  – нормируемая по классам прочность, МПа;  $K_T$ ,  $K_{мп}$  – коэффициенты, зависящие от  $C_v$ ;

$K_T = 1,09$ ,  $K_{мп} = 1,05$ , т.к.  $C_v = 7\%$ .

$$R_y = 40 \cdot 1,09 \cdot 1,05 = 45,78 \text{ (МПа)}$$

Цементно-водное отношение  $(Ц/В)_1$  в номинальном составе бетона, обеспечивающее получение заданного среднего уровня прочности после ТВО:

$$(Ц/В)_1 = \frac{R_{пб} + 0,37 \cdot R_{пц} + 3,22}{0,43 \cdot R_{пц} + 5,6}, \quad (73)$$

где  $R_{пб}$  – отпускная прочность бетона после ТВО, МПа;

$$R_{пб} = 0,7 \cdot R_y = 0,7 \cdot 45,78 = 32,05 \text{ (МПа)}$$

$R_{пц}$  – активность цемента при пропаривании, МПа; (выбирается исходя из группы, вида и марки применяемого цемента),  $R_{пц} = 32$  (МПа).

$$(Ц/В)_1 = (32,05 + 0,37 \cdot 32 + 3,22) / (0,43 \cdot 32 + 5,6) = 2,43$$

$(Ц/В)_2$ , обеспечивающее средний уровень прочности бетона в возрасте 28 суток нормального твердения:

$$(Ц/В)_2 = \frac{R_y - 0,06 \cdot R_{ц} + 10}{0,24 \cdot R_{ц} + 10}, \quad (74)$$

где  $R_{ц}$  – предел прочности цемента при сжатии в возрасте 28 суток, МПа.

$$(Ц/В)_2 = (45,78 - 0,06 \cdot 49 + 10) / (0,24 \cdot 49 + 10) = 2,43$$

Из двух значений Ц/В выбираем большее и принимаем его для подбора начального состава бетона ( $Ц/В = 2,43$ ).

Напорные виброгидропрессованные железобетонные трубы нормируются по показателю водонепроницаемости. Чтобы поддерживать данный показатель требуется использовать воздухововлекающие добавки при приготовлении бетонной смеси.

При воздухововлечении 4 % принятая величина Ц/В увеличивается на 0,02.

$$Ц/В = 2,43 + 0,02 = 2,45$$

В первоначальном расчетном составе бетона требуемое количество воды затворения выбирается из условий получения бетонной смеси определенной удобоукладываемости, вида и наибольшей крупности используемого крупного заполнителя.

При проектируемой подвижности бетонной смеси, которая соответствует осадке конуса 1 – 4 см и наибольшей крупности щебня 10 мм расход воды составляет 200 л на 1 м<sup>3</sup>. Так как Ц/В не менее 1,25 и не более 2,5 расход воды не изменяется. В качестве мелкого заполнителя используется песок Мк = 2,0 – расход воды не изменяется. В = 200 л на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси рассчитывается:

$$Ц_p = B \cdot \frac{Ц}{В}, \quad (75)$$

$$Ц_p = 200 \cdot 2,45 = 490 \text{ кг}$$

Полученный расчетом расход цемента Ц<sub>р</sub> сравниваем с минимально допустимым по ГОСТ 26633 Ц<sub>min</sub> расходом цемента Ц<sub>min</sub> = 220 кг и с элементными нормами расхода Ц<sub>э</sub>, приведенными в СНиП 82-02-95. При этом должно выполняться условие:

$$Ц_{min} \leq Ц_p \leq Ц_э$$

$$Ц_э = Ц_б \cdot K, \quad (76)$$

где Ц<sub>б</sub> – базовые нормы расхода цемента, кг; К – корректирующий коэффициент. Ц<sub>б</sub> = 580 кг для бетона класса В40 и отпускной прочностью 70 %.

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_i, \quad (77)$$

где К<sub>1</sub> · К<sub>2</sub> · К<sub>3</sub> · ... · К<sub>і</sub> – коэффициенты зависящие от свойств материала.

К<sub>1</sub> = 0,92 для бетонов классов В30 и более и отпускной прочности 70...80 %;

К<sub>2</sub> = 1,05 для цементов с плотностью 27–30 %;

К<sub>3</sub> = 1 для цементов II группы эффективности при пропаривании;

К<sub>4</sub> = 1 для бетона на щебне;

К<sub>5</sub> = 1,07 при наибольшей крупности заполнителя 10 мм;

К<sub>6</sub> = 1 для щебня с содержанием зерен лещадной формы 25...35 %;

К<sub>7</sub> = 1 для бетона с использованием песка Мк = 2,5;

$K_8 = 1$  при использовании в качестве мелкого заполнителя природных песков;

$K_9 = 1$  для бетонных смесей с ОК 1–4 см;

$K_{10} = 1$  при использовании бетонной смеси температурой до 25 °С;

$K_{11} = 1,08$  при изготовлении преднапряженных железобетонных конструкций.

$$K = 0,92 \cdot 1,05 \cdot 1,07 \cdot 1,08 = 1,12.$$

$$Цэ = 580 \cdot 1,12 = 649,6.$$

$$220 < 490 < 649,6$$

Чтобы понизить количество воды затворения, но при этом сохранить подвижность бетонной смеси, требуется ввести добавку-пластификатор. Применяем добавку Glenium ACE 420 в количестве 0,8% от массы цемента. Получаем массу добавки:

$$Д = 490 \cdot 0,008 = 3,92 \text{ кг.}$$

Количество воды уменьшается, в связи с добавлением пластификатора, значительно уменьшающего расход воды затворения.

$$В = 200 \cdot 0,8 = 160 \text{ кг.}$$

Пересчитаем  $Ц/В = 3,06$ .

Затем, чтобы вычислить объем, занимаемый заполнителями на  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси, требуется вычесть объемы воды и цемента. При введении воздухововлекающей добавки, которая обеспечивает в бетонной смеси 40л (4 %) равномерно распределенных пузырьков воздуха объем бетонной смеси составит  $1000 \text{ л} - 40 \text{ л} = 960 \text{ л}$ . В таком случае абсолютный объем заполнителей вычисляется:

$$V_3 = 960 - \frac{Ц}{\rho_ц} - \frac{В}{\rho_в} - \frac{Д}{\rho_д}, \quad (78)$$

$$V_3 = 960 - 490/3,1 - 160/1 - 3,92/1,006 = 960 - 158,1 - 160 - 3,9 = 638 \text{ л}$$

Объем песка в смеси заполнителей (песок + щебень) по абсолютному объему определяют исходя от расхода цемента и наибольшей крупности заполнителей, а также с учетом удобоукладываемости бетонной смеси и крупности песка. Значение  $г$  высчитываем методом линейной интерполяции.

Так как НК щебня 10 мм, расход цемента 490 кг доля песка рассчитывается методом интерполяции исходя из значений  $r$  для НК щебня,  $r = 0,38$ . При  $M_k$  песка 2,5 его доля увеличивается:

$$r = 0,38 + 0,03 = 0,383.$$

Количество мелкого заполнителя (песка):

$$638 \cdot 0,383 \cdot 2,65 = 647,5 \text{ кг}$$

Количество крупного заполнителя (щебня):

$$638 \cdot 0,617 \cdot 2,7 = 1062,8 \text{ кг}$$

В итоге, расход материалов по массе на  $1\text{ м}^3$  уложенной и уплотненной бетонной смеси:

- цемент 490 кг;
- песок 647,5 кг;
- щебень 1062,8 кг;
- вода 160 кг;
- добавки 3,92 кг.

В виде отношения по массе между цементом, песком, крупным заполнителем (принимая расход цемента за единицу), при  $Ц/В = 3,06$ .

$$Ц/Ц : П/Ц : Щ/Ц = 1 : 1,3 : 2,2.$$

Расчетная средняя теоретическая плотность уложенной и уплотненной бетонной смеси вычисляется как сумма расходов всех компонентов по массе:

$$\rho = Ц + П + Щ + В + Д, \quad (79)$$

$$\rho = 490 + 647,5 + 1062,8 + 160 + 3,92 = 2364 \text{ кг/м}^3.$$

Таким образом, был подобран состав бетонной смеси, включающей в себя добавку пластификатора, которая обеспечит необходимые прочностные характеристики и длительный срок эксплуатации.

## 7 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Для проведения тепловлажностной обработки труб используются специальные пост, который совмещает в себе операции по опрессовке и тепловой обработке. К месту проведения ТВО форма с трубой перемещается при помощи мостового крана. Специальный сердечник формы подключается к системам низкого и высокого давления. Через эти системы вода попадает под резиновый чехол сердечника. Далее после получения заданного давления воды под резиновым чехлом на форму надевается брезентовый чехол. После чего пускается пар во внутреннюю полость сердечника и под брезентовый чехол.

При теплотехническом расчете формы используются следующие исходные данные:

- температура загружаемой бетонной смеси  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура окружающей среды  $t_{oc} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура изотермической выдержки  $t_{из} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура изделий при выгрузке из камеры  $t_{ох} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- удельная теплоемкость бетона  $c_б = 0,84 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$ ;
- коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_б = 1,56 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град}$ ;
- масса изделия  $G_{и} = 2433 \text{ кг}$ ;
- объем бетона в изделии  $V_б = 0,99 \text{ м}^3$ ;
- расход арматуры на 1 изделие  $G_a = 92,7 \text{ кг}$ ;
- масса бетона в изделии  $G_б = 2340,3 \text{ кг}$ ;
- вес сухих веществ на  $1 \text{ м}^3$   $G_{сб} = 2200,3 \text{ кг}$ ;

Общая масса сухих веществ на одно изделие:

$$G_{CI} = G_{сб} \cdot V_б, \quad (80)$$

$$G_{CI} = 2200,3 \cdot 0,99 = 2178,3 \text{ кг}$$

Количество воды, вступившее в реакцию с вяжущим:

$$G_{BC} = G_B \cdot \alpha_1, \quad (81)$$

где  $\alpha_1$  – степень гидратации, для ПЦ  $\alpha_1 = 0,17$ ;

$$G_{BC} = 160 \cdot 0,17 = 27,2 \text{ кг}$$

## 7.1 Материальный баланс формы

Поступает в форму:

– сухих веществ:

$$G_c = V_{\text{бк}} \cdot G_{c1}, \quad (82)$$

где  $V_{\text{бк}}$  – общий объем бетона в форме:

$$V_{\text{бк}} = N_1 \cdot V_{\text{б}}, \quad (83)$$

где  $N_1$  – количество изделий в форме, шт.

$$V_{\text{бк}} = 1 \cdot 0,99 = 0,99 \text{ м}^3, \\ G_c = 0,99 \cdot 2178,3 = 2156,5 \text{ кг},$$

– воды:

$$G_w = V_{\text{бк}} \cdot G_B \quad (84) \\ G_w = 0,99 \cdot 160 = 158,4 \text{ кг}.$$

– металла форм:

$$G_M = N_2 \cdot G_{\text{Ф}}, \quad (85)$$

где  $N_2$  – количество форм, шт.;

$$G_M = 1 \cdot 85 = 85 \text{ кг}.$$

– арматуры и закладных деталей:

$$G_{\text{ар}} = 92,7 \text{ кг}.$$

Выгружается из камеры:

– сухого бетона:

$$G_{\text{б0}} = G_c + G_{\text{вг}}, \quad (86)$$

где  $G_{\text{вг}}$  – вода, превратившаяся в гидратную влагу, кг:

$$G_{\text{вг}} = G_{\text{вс}} \cdot V_{\text{бк}}, \quad (87)$$

$$G_{\text{вг}} = 27,2 \cdot 0,99 = 26,9 \text{ кг}$$

$$G_{\text{б0}} = 2156,5 + 26,9 = 2183,4 \text{ кг}$$

– остаточная влага изделий:

$$G_{\text{вост}} = G_w - G_{\text{вг}} - G_w \cdot \alpha_2 / 100, \quad (88)$$

где  $\alpha_2$  – процент испарившейся влаги за период,  $\alpha_2 = 30\%$ ;

– испарившаяся вода:

$$G_{\text{ви}} = G_{\text{w}} \cdot \alpha_2 / 100 = 158,4 \cdot 0,3 = 47,52 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{вост}} = 158,4 - 26,9 - 158,4 \cdot 0,3 = 83,98 \text{ кг.}$$

## 7.2 Тепловой баланс формы

Для того, чтобы узнать максимальную скорость подъема температуры (или остывания) трубы и фактическую температуру, требуется провести расчет температуры.

Температура рассчитывается при помощи критериальных уравнений нестационарного теплообмена для моментов повышения температуры и изотермической выдержки. Форма работает постоянно, а температура держится неизменной. В этом случае расчеты будут проводиться за период изотермической выдержки. Во время определения температуры материала в точке трубы с координатой (x) при повышении температуры изделия вычисляются уравнения критериального нестационарного теплообмена.

Критерий Био:

$$\theta = \frac{(t_c - t)}{(t_c - t_H)} = f(F_o, Bi, \frac{x}{R}), \quad (89)$$

где  $\theta$  – безразмерная температура;  $t_c$  – температура среды в данное время;  $t$  – температура материала в точке с координатой  $x$ ;  $t_H$  – начальная температура тела;  $F_o$ ,  $Bi$  – временной критерий Фурье, критерий Био;  $R$  – характерный для теплообмена размер ( $R = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 0,075 = 0,0375 \text{ м}$ );

Критерий Фурье:

$$F_o = \frac{\alpha \cdot \tau}{R}, \quad (90)$$

где  $\tau$  – время выдержки,  $\tau = 7 \text{ ч}$ ;  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности.

Коэффициент температуропроводности, который определяет скорость нагрева материала при прочих равных условиях, вычисляется:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (91)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность материала, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $c$  – теплоемкость материала, Дж/кг·град;  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

$$\alpha = 1,56 / 840 \cdot 2364 = 0,0000008$$

$$F_o = 0,0000008 \cdot 7 \cdot 3600 / 0,0375 = 0,54$$

Критерий Био:

$$B_i = \frac{a \cdot R}{\lambda}, \quad (92)$$

где  $a$  – коэффициент теплоотдачи,  $a = 27,9$  Вт/м<sup>2</sup>·град.

$$B_i = 27,9 \cdot 0,0375 / 1,56 = 0,67.$$

Безразмерные температуры в центре и на поверхности изделия определяются в зависимости от критериев Био и Фурье по графическим зависимостям:

$$- \Theta_{\text{ц}} = 0,85;$$

$$- \Theta_{\text{п}} = 0,6.$$

Температура поверхности к концу периода:

$$t_n = t_o - \theta_{\text{п}}(t_o - t_{oc}), \quad (93)$$

где  $t_o$  – средняя по времени температура среды за период,  $t_o = 75$  °С.

$$t_n = 75 - 0,6(75 - 20) = 42$$
 °С.

Температура центра изделия в конце периода:

$$t_{\text{ц}} = t_o - \theta_{\text{ц}}(t_o - t_{oc}), \quad (94)$$

$$t_{\text{ц}} = 75 - 0,85(75 - 20) = 28,25$$
 °С.

Средняя температура изделия в конце периода:

$$t_c = 0,67 \cdot t_{\text{ц}} + 0,33 \cdot t_n, \quad (95)$$

$$t_c = 0,67 \cdot 28,25 + 0,33 \cdot 42 = 32,8$$
 °С.

Фактическая средняя температура изделия:

$$t_6 = t_c = 32,8$$
 °С.

### 7.3 Приход тепла

Теплосодержание сухой части бетонной смеси:

$$Q_{1-1} = G_c \cdot c_6 \cdot t_6, \quad (96)$$

$$Q_{1-1} = 2156,5 \cdot 0,84 \cdot 32,8 = 59415,89$$
 кДж.



Теплосодержание влаги в бетонной смеси:

$$Q_{1-2} = G_w \cdot c_w \cdot t_6, \quad (97)$$

где  $c_w$  – теплоемкость воды,  $c_w = 4,18$  кДж/кг · град.

$$Q_{1-2} = 158,4 \cdot 4,18 \cdot 32,8 = 21717,27 \text{ кДж.}$$

Теплосодержание арматуры и закладных деталей:

$$Q_{1-3} = G_a \cdot c_a \cdot t_6, \quad (98)$$

где  $c_a$  – теплоемкость стали,  $c_a = 0,48$  кДж/кг · град.

$$Q_{1-3} = 92,7 \cdot 0,48 \cdot 32,8 = 1459,47 \text{ кДж.}$$

Теплосодержание формы:

$$Q_{1-4} = G_m \cdot c_a \cdot t_6, \quad (99)$$

$$Q_{1-4} = 85 \cdot 0,48 \cdot 90 = 3672 \text{ кДж.}$$

Тепло материалов ограждений:

$$Q_{1-5} = \sum V_{i\text{огр}} \cdot \rho_{i\text{огр}} \cdot c_{i\text{огр}} \cdot t_{i\text{огр}}, \quad (100)$$

где  $V_{i\text{огр}}$  – объем  $i$ -го слоя материала ограждения, м<sup>3</sup>;  $\rho_{i\text{огр}}$  – плотность  $i$ -го материала, кг/м<sup>3</sup>;  $c_{i\text{огр}}$  – удельная теплоемкость  $i$ -го материала, кДж/кг · град;  $t_{i\text{огр}}$  – средняя температура  $i$ -го слоя материала, °С.

Требуется определить температуры для каждого слоя формы.

$$Q_{1-5} = V_{\text{формы}} \cdot \rho_{\text{формы}} \cdot c_{\text{формы}} \cdot t_{\text{формы}} + V_{\text{чехла}} \cdot \rho_{\text{чехла}} \cdot c_{\text{чехла}} \cdot t_{\text{чехла}}, \quad (101)$$

$$Q_{1-5} = 0,01 \cdot 7800 \cdot 0,48 \cdot 20 + 0,2 \cdot 1500 \cdot 1,19 \cdot 20 = 7956 \text{ кДж.}$$

Тепло, вносимое теплоносителем:

$$Q_{1-6} = G_1 \cdot i_n, \quad (102)$$

где  $G_1$  – количество подаваемого теплоносителя в период прогрева, кг;  $i_n$  – энтальпия теплоносителя,  $i_n = 60,288$  кДж/кг.

$$Q_{1-6} = G_1 \cdot 60,29 \text{ кДж.}$$

Сумма приходных статей:

$$Q_{\text{п}} = 59415,89 + 21717,27 + 1459,47 + 3672 + 7956 + G_1 \cdot 60,288$$

$$Q_{\Pi} = 94220,63 + 60,288G_1$$

#### 7.4 Расход тепла

На нагрев сухих материалов:

$$Q_{2-1} = Q_{1-1} = 59415,89 \text{ кДж.}$$

На нагрев воды в бетонной смеси:

$$Q_{2-2} = (G_w - G_{\text{ви}} - G_{\text{вг}}) \cdot c_w \cdot t_6, \quad (103)$$

$$Q_{2-2} = (158,4 - 47,52 - 26,9) \cdot 4,18 \cdot 32,8 = 11513,99 \text{ кДж.}$$

На нагрев арматуры и закладных деталей:

$$Q_{2-3} = Q_{1-3} = 1459,47 \text{ кДж.}$$

На нагрев формы:

$$Q_{2-4} = Q_{1-4} = 3672 \text{ кДж.}$$

На нагрев материалов ограждений:

$$Q_{2-5} = Q_{1-5} = 7956 \text{ кДж.}$$

Потери тепла в окружающую среду через стенки камеры:

$$Q_{2-6} = 3,6 \cdot k \cdot F_H \cdot D_n \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{oc}}), \quad (104)$$

где  $D_n$  – время изотермической выдержки, ч;  $F_H$  – площадь стен,  $\text{м}^2$ ;  $t_{\text{ст}}$  – температура наружной поверхности стен,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$ .

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (105)$$

$$k = 1 / (1/0,17 + 0,055/0,042 + 0,005/0,056 + 1/0,3) = 0,09$$

$$Q_{2-6} = 3,6 \cdot 0,09 \cdot 17,27 \cdot 7 (75 - 20) = 2154,26 \text{ кДж.}$$

Потери тепла на испарение части воды затворения:

$$Q_{2-7} = G_{\text{ви}} \cdot (r + c_{\text{в}} \cdot t_6), \quad (106)$$

где  $r$  – скрытая теплота парообразования, кДж/кг;  $c_b$  – теплоемкость воздуха, кДж/кг · град.

$$Q_{2-7} = 47,52 \cdot (1023 + 1,0048 \cdot 32,9) = 50183,87 \text{ кДж.}$$

Тепло, уносимое конденсатом:

$$Q_{2-8} = G_k \cdot c_k \cdot t_o, \quad (107)$$

$$G_k = G_1 - G_{св} - G_{пр}, \quad (108)$$

где  $G_{пр}$  – потери тепла через неплотности в атмосферу,  $G_{пр} = 0,1 \cdot G_1$ , кг;  $G_{св}$  – масса воздуха, заполняющего свободный объем камеры, кг.

$$G_{св} = \rho_b \cdot (V_k - V_{бк} - V_{\phi}), \quad (109)$$

где  $\rho_b$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\phi}$  – объем, занимаемый формами, м<sup>3</sup>;  $V_k$  – рабочий объем камеры, м<sup>3</sup>.

$$V_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{\rho_{\phi}} \cdot N_2, \quad (110)$$

где  $\rho_{\phi}$  – плотность стали, кг/м<sup>3</sup>.

$$V_{\phi} = 85 / 7800 \cdot 1 = 0,01 \text{ м}^3.$$

$$G_{св} = 1,28 \cdot (5,2 - 0,99 - 0,01) = 5,38 \text{ кг.}$$

$$G_k = G_1 - 5,38 - 0,1 \cdot G_1 = 0,9 G_1 - 5,38 \text{ кг.}$$

$$Q_{2-8} = (0,9G_1 - 5,38) \cdot 1,0048 \cdot 32,8 = 29,66 G_1 - 177,31 \text{ кДж.}$$

Потери тепла с паром, уходящим через неплотности установки:

$$Q_{2-9} = G_{пр} \cdot c_b \cdot t_o, \quad (111)$$

$$Q_{2-9} = 0,1G_1 \cdot 1,0048 \cdot 32,8 = 3,29G_1 \text{ кДж.}$$

Сумма расходных статей:

$$Q_p = 59415,89 + 11513,99 + 1459,47 + 3672 + 7956 + 2154,26 + 50183,87 + \\ + 29,66 G_1 - 177,31 + 3,29G_1 = 136178,17 + 32,95G_1$$

$$Q_{п} = Q_p$$

$$94220,63 + 60,29 G_1 = 136178,17 + 32,95G_1$$

$$G_1 = 1534,66 \text{ кг.}$$

$$Q_{1-6} = 60,29 \cdot G_1 = 92524,65 \text{ кДж,}$$

$$Q_{2-8} = 29,66 \cdot G_1 - 177,31 = 45340,71 \text{ кДж,}$$

$$Q_{2-9} = 3,29 \cdot G_1 = 5049,03 \text{ кДж.}$$

Удельный расход теплоносителя на тепловую обработку изделия:

$$G_{уд} = \frac{G_1}{V_{БК}}, \quad (112)$$

$$G_{уд} = 1534,66 / 0,99 = 1550,16 \text{ кг.}$$

Таблица 18 – Тепловой баланс формы

Статья	Наименование	Значение	%
Приход			
Q <sub>1-1</sub>	Теплосодержание сухой части бетонной смеси	59415,89	31,8
Q <sub>1-2</sub>	Теплосодержание влаги в бетонной смеси	21717,27	12,6
Q <sub>1-3</sub>	Теплосодержание арматуры и закладных деталей	1459,47	0,8
Q <sub>1-4</sub>	Теплосодержание формы	3672,00	1,9
Q <sub>1-5</sub>	Тепло материалов ограждений	7956,00	4,3
Q <sub>1-6</sub>	Тепло, вносимое теплоносителем	92524,65	48,6
Итого:		186745,28	100
Расход			
Q <sub>2-1</sub>	Нагрев сухих материалов	59415,89	31,8
Q <sub>2-2</sub>	Нагрев воды в бетонной смеси	11513,99	6,2
Q <sub>2-3</sub>	Нагрев арматуры и закладных деталей	1459,47	7,8
Q <sub>2-4</sub>	Нагрев формы	3672,00	1,9
Q <sub>2-5</sub>	Нагрев материалов ограждений	7956,00	4,3
Q <sub>2-6</sub>	Потери тепла в окружающую среду	2154,26	1,2
Q <sub>2-7</sub>	Потери тепла на испарение части воды затворения	50183,87	26,8
Q <sub>2-8</sub>	Тепло, уносимое конденсатом	45340,71	24,2
Q <sub>2-9</sub>	Потери тепла с паром, уходящим через неплотности установки	5049,03	2,7
Итого:		186745,22	100

Чтобы поддерживать требуемый режим во время тепловлажностной обработки используется брезентовый чехол, которым накрывается форма трубы. В качестве теплоносителя для технологических целей используется пар. Как видно из таблицы 19, основные траты теплоты уходят на обогрев сухой части бетонной смеси и воды. Это указывает на то, что форма при ТВО работает эффективно.

## 8 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Автоматизация технологического процесса – комплекс методов и средств, которые помогают реализовать системы, с помощью которых можно управлять самим технологическим процессом без какого-либо участия персонала формовочного цеха. Либо, за персоналом остается право принятия самых важных решений.

Основой автоматизации технологических процессов служит оптимальное перераспределение материальных, энергетических, информационных потоков согласно принятым условиям управления.

### 8.1 Автоматическая стабилизация гидростатического давления

При производстве вибропрессованных труб с предварительно напряженной арматурой требуется создание под резиновыми чехлами форм высокого гидростатического давления и строго определенного его выдерживания в течение всего срока термообработки бетона.

В этих целях на заводах имеются гидравлические установки высокого давления. Одна такая установка для опрессовки обслуживает поочередно несколько форм с трубами.

Для автоматической стабилизации гидростатического давления в чехлах форм в течение всего периода термообработки труб на каждом посту опрессовки устанавливаются регуляторы РЖДТ-1.

Регулятор РЖДТ-1 предназначен для автоматической стабилизации давления от 30 до 350 Н/см<sup>2</sup> воды, заключенной под резиновым чехлом и используемой для создания усилий опрессовки свежееотформованных труб. Регулятор состоит из следующих частей (рис. 7):

- системы трубопроводов (4, 5, 8, 9, 22, 23, 24);
- усилителя первого каскада А: с мембраной 17, пружиной 18, рычагом 20, клапан-конусом 19;
- усилителя второго каскада Б: с сервоприводом 14, пружиной 13, клапаном 16, манометром 15;

- редукционный клапан 12;
- два фильтра 1;
- запорные вентили (2, 3, 10 и 11).

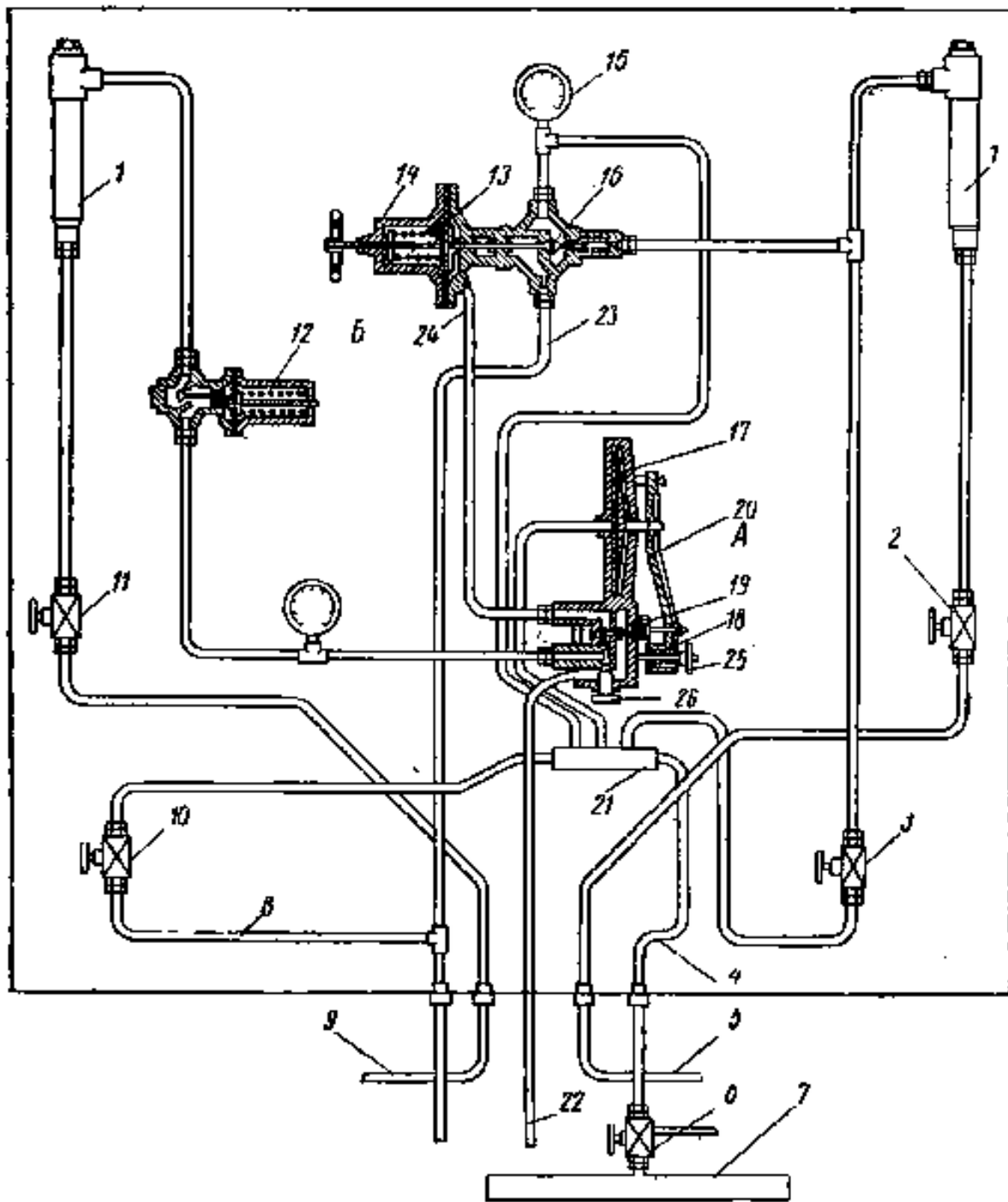


Рисунок 7 – Схема регулятора РЖДТ-1

Работа с регулятором выполняется в следующей последовательности. вначале подчехольное пространство формы 7 заполняется водой из бойлера при помощи трехходового крана 6. Далее подчехольное пространство соединяется с установкой высокого давления с тем, чтобы в форме создать заданное гидростатическое давление. Регулировка давления производится вручную путем воздействия на вентили 3 и 10 и детали 25 и 26.

Вода от установки высокого давления идет по трубопроводу 5, через вентиль 2, фильтр 1, вентиль 3, сборник 21, трубопровод 4, кран 6 и давит на мембрану 17. Из сборника по трубопроводам вода доходит до клапана 16 и вентиля 10. После достижения расчетного давления регулятор переводится на автоматическое управление. В этом случае вода под давлением  $42...60 \text{ Н/см}^2$  проходит по трубопроводу 9, через вентиль 11, фильтр 1 (левый), клапан 12 и поступает в усилитель первого каскада и отсюда по трубе 24 к усилителю второго каскада.

При повышении давления в форме мембрана 17 срабатывает, срабатывает клапан 19 и вода низкого давления идет в дренаж. В это время пружина 13 распрямляется и открывает клапан 16, после чего вода высокого давления по трубопроводу 8 начинает выливаться в дренаж. Но как только давление воды дойдет до заданного значения, мембрана 17 распрямляется, клапан 19 перекрывает ход воде из трубки 24, после чего действием пружины 13 клапан 16 закрывается и выход воды высокого давления в дренаж приостанавливается. При понижении давления указанные детали работают в обратном порядке.

## 9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СКЛАДА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Склады для готовой продукции на предприятиях по производству жби должны проектироваться согласно ОНТП 07-85 [4]. Обычно для хранения жби используют склады открытого типа. Таким местом является площадка с твердой поверхностью, имеющая некий малый уклон для стока атмосферных осадков. На таких складах имеются рельсовые эстакады для мостовых кранов, а также асфальтированные дороги для движение грузовых транспортных средств и местом для их загрузки отгружаемой продукцией.

Общая площадь склада готовой продукции вычисляется по формуле:

$$A = \Gamma_{\text{сут}} \cdot T_{\text{хр}} \cdot K_1 \cdot K_2 / \Gamma_{\text{н}}, \quad (113)$$

где  $\Gamma_{\text{сут}}$  – поступление труб на склад за сутки,  $\Gamma_{\text{сут}} = 192 \cdot 0,99 = 190,08 \text{ м}^3$ ;  $T_{\text{хр}}$  – время хранения труб на складе, сут, для заводов ЖБИ кроме КПД  $T_{\text{хр}} = 10 \dots 14$  сут;  $K_1$  – коэффициент, расчета увеличения площади места складирования на проходы между штабелями труб,  $K_1 = 1,5$ ;  $K_2$  – коэффициент, расчета увеличения площади склада, который зависит от вида грузоподъемного механизма для мостовых кранов,  $K_2 = 1,3$ ;  $\Gamma_{\text{н}}$  – объем изделий, который хранится на площади  $1 \text{ м}^2$  склада. Одно изделие занимает площадь  $6 \text{ м}^2$ . Изделия можно хранить в штабелях высотой в 4 ряда.  $\Gamma_{\text{н}} = 0,66 \text{ м}^3$ . К изделиям на складе готовой продукции должны быть обеспечены свободные проходы.

$$A = 190,08 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,3 / 0,66 = 6739,2 \text{ м}^3.$$



## 10 КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

При изготовлении железобетонных конструкций на каждой стадии технологического процесса ведётся технический контроль. Контроль бывает входным, операционным и приемочным. Контроль за производством ведет технический персонал формовочного цеха. Технический персонал следит за тем, чтобы выполнялись все технологические требования к формуемым изделиям. Персонал отдела технического контроля проверяет качество и проводит приемку готовых железобетонных изделий. Также отделом технического контроля проверяется соответствие технологии изготовления изделий техническим условиям производства соответствующих железобетонных изделий и конструкций. Только соответствие требуемому качеству сырья и материалов, а также грамотная организация операционного контроля дают благоприятные условия для выполнения технологического процесса, что, в свою очередь, гарантирует выход конечной продукции высокого качества.

Сплошной контроль проверяет наличие монтажных петель, а также правильность нанесения маркировки на изделия.

Во время выборочного контроля в процессе выпуска изделий или же после производства целой партии отбирается некое их количество для определения общего количества бракованных изделий по различным показателям. Разрешается применять сплошной контроль в тех случаях, когда не была принята партия изделий в процессе выборочного контроля. При этом у изделий смотрят только те параметры, по показателям которых партия не была принята.

В журналах ОТК, лаборатории завода и прочих документах в обязательном порядке фиксируются результаты входного, операционного и приемочного контролей.

Таблица 19 – Контроль технологических операций и готовой продукции

Контроль	Объект контроля	Содержание контроля	Исполнитель
Входной	Цемент	Вид, марка, наличие паспорта, физико-механические свойства	Лаборатория
	Заполнители	Вид, наличие паспорта, физико-механические свойства, влажность	Лаборатория
	Сталь арматурная	Вид, класс, марка стали, наличие сертификатов, физико-механические свойства	Лаборатория
Операционный	Приготовление бетонной смеси	Дозирование, перемешивание и удобоукладываемость	Лаборатория, работники БСЦ
	Изготовление арматурных изделий	Применение стали заданного класса и диаметра	ОТК, работники арматурного цеха
	Формы	Правильность сборки форм и равномерность их смазки	Работники формовочного цеха
	Армирование железобетонных изделий	Правильность положения арматурных каркасов и качество их фиксации в форме	ОТК, работники формовочного цеха
	Формование железобетонных изделий	Степень уплотнения бетонной смеси, качество открытых поверхностей изделий, расширение формы, сжатие пружин на тарированных болтах	ОТК, работники формовочного цеха
	Тепловая обработка	Контроль температуры, влажности и продолжительности процесса	Пропарщик
	Размеры, формы и качество изделий	Внешний осмотр изделий, проверка размеров и качества поверхности изделий	ОТК
Приёмочный	Марка бетона, водонепроницаемость, морозостойкость	Испытание контрольных кубов на удовлетворение требованиям нормативной документации	Лаборатория
	Прочность бетона	Отпускная и марочная прочность бетона и другие физико-механические свойства; трещиностойкость, определение защитного слоя бетона	Лаборатория ОТК
	Правильность укладки изделий	Проверка положения изделий и прокладок в штабеле, маркировка изделий	ОТК

## 11. ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Для определения экономической оценки принятых проектных решений вычисляется себестоимость производства изделий. Состоит она из стоимости сырья и материалов и себестоимости их обработки с учетом расходов на амортизацию здания, сооружений и оборудования. Себестоимость изготовления  $1\text{ м}^3$  жби:

$$C_{И} = C_{Б} + \sum C_{СТ} + \sum C_{А} + \sum C_{Н} + C_{Д} + C_{У} + C_{НА} + \\ + C_{Ф} + C_{О} + C_{П} + C_{ЗГ} + C_{Э} + C_{ОБ} + Z + Ц + O , \quad (114)$$

где  $C_{Б}$  – себестоимость приготовления бетонной смеси.

$$C_{Б} = \sum B_{И} \cdot K_{Б} \cdot Ц_{Б} , \quad (115)$$

где  $K_{Б}$  – коэффициент расхода бетонной смеси во время её укладки в форму (вытеснение части бетонной смеси арматурными изделиями, потери бетонной смеси),  $K_{Б} = 1,009$ ;  $Ц_{Б}$  – себестоимость  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси класса В40 – 4396 руб. за  $\text{м}^3$ ;  $B_{И}$  – объем бетона в трубе –  $0,99\text{ м}^3$ .

При расчете себестоимости бетонной смеси для формирования преднапряженных железобетонных конструкций учитывают коэффициент 1,03.

$$C_{Б} = 0,99 \cdot 1,009 \cdot 4396 \cdot 1,03 = 4523 \text{ руб.}$$

$\sum C_{СТ}$  – суммарная цена всех видов арматурной стали, расходуемой на  $1\text{ м}^3$ ;

В производстве трубы ТН80-II применяется арматурная проволока класса Вр-II Ø5 мм общей массой 16 кг стоимостью 35983 рубля за 1 тонну. Также сваривается спиральный каркас из арматурной проволоки класса В-II Ø4 мм общей массой 66,3 кг стоимостью тоже 35983 рубля за 1 тонну. И ещё в данном изделии используется холоднокатаная лента размером сечения 20x0,7 мм общей массой 10,4 кг и стоимостью 43273 рубля за 1 тонну.

Рассчитаем себестоимость арматуры:

$$\sum C_{СТ} = \sum (B_{СТ} \cdot K_{СТ} \cdot Ц_{СТ}) / 1000, \quad (116)$$

где  $B_{CT}$  – вес арматуры, который требуется для производства одного изделия;  $K_{CT}$  – коэффициент расхода арматуры. Для арматурной проволоки класса Вр-II и В-II  $K_{CT} = 1,04$ , а для прокатной холоднокатаной ленты  $K_{CT} = 1,035$ .

$$\sum C_{CT} = (16 \cdot 1,04 \cdot 35983 + 66,3 \cdot 1,04 \cdot 35983 + 10,4 \cdot 1,035 \cdot 43273) / 1000$$

$$\sum C_{CT} = (598757 + 2481099 + 465791) / 1000 = 3545,6 \text{ руб.}$$

$\sum C_A$  – общие расходы на сваривание спирального каркаса;

$$\sum C_A = \sum B_a \cdot C_a / 1000, \quad (117)$$

где  $B_a$  – вес спирального каркаса;  $C_a$  – цена 1 т спирального каркаса.

$$\sum C_A = 66,3 \cdot 40130 / 1000 = 2660,6 \text{ руб.}$$

$\sum C_H$  – общие расходы на заготовку напрягаемой проволоки;

$$\sum C_H = \sum B_H \cdot C_H / 1000, \quad (118)$$

где  $B_H$  – вес напрягаемой проволоки;  $C_H$  – цена заготовки 1 т напрягаемой проволоки класса Вр-II.

$$\sum C_H = 16 \cdot 11323 / 1000 = 181,2 \text{ руб.}$$

$C_D$  – себестоимость изготовления холоднокатаной ленты на 1 м<sup>3</sup>;

$$\sum C_D = \sum B_D \cdot C_D / 1000, \quad (119)$$

где  $B_D$  – вес холоднокатаной ленты;  $C_D$  – цена 1 т холоднокатаной ленты.

$$\sum C_D = 10,4 \cdot 75170 / 1000 = 781,8 \text{ руб.}$$

$C_Y$  – себестоимость установки в форму спирального каркаса и холоднокатаной ленты;

$$C_Y = (B_H + B_K) \cdot C_Y / 1000, \quad (120)$$

где  $C_Y$  – стоимость установки в форму 1 т спирального каркаса и холоднокатаной ленты,  $C_Y = 2219$  руб.;

$$C_Y = (66,3 + 10,4) \cdot 2219 / 1000 = 170,2 \text{ руб.}$$

$C_{HA}$  – стоимость операции по натяжению проволоки;

$$C_{HA} = B_{HA} \cdot C_{HA} / 1000, \quad (121)$$

где  $B_{HA}$  – вес напрягаемой проволоки;  $C_{HA}$  – стоимость натяжения 1 т проволоки,  $C_{HA} = 8252$  руб.

$$C_{HA} = 16 \cdot 8252 / 1000 = 132 \text{ руб.}$$

$C_{\Phi}$  – себестоимость формования 1 м<sup>3</sup> трубы;

$$C_{\Phi} = B_{И} \cdot Ц_{\Phi}, \quad (122)$$

где  $B_{И}$  – объем бетона в трубе в плотном теле;  $Ц_{\Phi}$  – себестоимость укладки 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси в форму,  $Ц_{\Phi} = 459$  руб.

$$C_{\Phi} = 0,99 \cdot 459 = 454,4 \text{ руб.}$$

$C_{O}$  – затраты на содержание форм на 1 м<sup>3</sup> изделий;

$$C_{O} = B_{И} \cdot Ц_{O}, \quad (123)$$

где  $B_{И}$  – объем бетона в изделии в плотном теле;  $Ц_{O}$  – затраты на содержание форм на 1 м<sup>3</sup> трубы (в плотном теле).

$$C_{O} = 0,99 \cdot 6503 = 6437,9 \text{ руб.}$$

$C_{П}$  – себестоимость пара для ТВО на 1 м<sup>3</sup> трубы;

$$C_{П} = B_{И} \cdot Ц_{П}, \quad (124)$$

где  $Ц_{П}$  – себестоимость пара для ТВО на 1 м<sup>3</sup> трубы;

$$C_{П} = 0,99 \cdot 633 = 626,7 \text{ руб.}$$

$C_{ЗГ}$  – себестоимость улучшения заводской готовности 1 м<sup>3</sup> изделий, расходы на отделку и доводку труб. Эти расходы включают в себя в том числе и затраты на укрупнительную сборку. В данном производстве укрупнительная сборка отсутствует, значит:

$$C_{ЗГ} = 0 \text{ руб.}$$

$C_{Э}$  – себестоимость электроэнергии, расходуемой на 1 м<sup>3</sup> изделий, руб.

$$C_{Э} = (\mathcal{E} + \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2) \cdot Ц_{Э}, \quad (125)$$

Удельный затраты электрической энергии  $\mathcal{E}$  (кВт·ч/м<sup>3</sup>) вычисляют исходя из общей мощности оборудования, имеющегося на технологической линии, и количества времени работы этой технологической линии в году:

$$\mathcal{E} = 0,3 \cdot F \cdot h \cdot V_p / P, \quad (126)$$

где  $F$  – общая мощность оборудования (кВт);  $h$  – количество рабочих часов в сутки;  $V_p$  – количество рабочих суток в году;  $P$  – годовая производительность предприятия, м<sup>3</sup>.

$$\mathcal{E} = 0,3 \cdot 336,44 \cdot 24 \cdot 246 / 43486,5 = 13,7 \text{ кВт·ч/м}^3$$

Затраты электрической энергии на нагрев арматуры при электротермическом напряжении,  $\mathcal{E}_1 = 0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ;

Затраты электрической энергии на электротермообработку жби из тяжелого бетона не осуществляются  $\mathcal{E}_2 = 0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ;

$\mathcal{C}_\mathcal{E}$  – стоимость электрической энергии ( $\mathcal{C}_\mathcal{E} = 4,6 \text{ руб}$  за  $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ );

$$\mathcal{C}_\mathcal{E} = 13,7 \cdot 4,6 = 63 \text{ руб.}$$

$\mathcal{C}_{\text{ОБ}}$  – затраты на амортизацию оборудования, руб.;

$$\mathcal{C}_{\text{ОБ}} = 3,2 \cdot \sum A_{\text{ОБ}} / P, \quad (127)$$

где  $\sum A_{\text{ОБ}}$  – сумма отчислений содержание и эксплуатацию оборудования.

Таблица 20 – Амортизационные отчисления на оборудование.

Наименование оборудования	Число машин	Стоимость		Норма амортизационных отчислений	
		1 шт	общая	%	руб.
Формы	38	186220	7076360	32,8	2321046
Бетоноукладчик	2	4090868	8181736	20	1636347
Домкрат гидравлический	2	707610	1415220	20,6	291535
Навивочная машина для непрерывного армирования высокопрочной проволоки	2	6633840	13267680	20,6	2733142
Защитное приспособление для работы с гидродомкратом	2	425671	851342	7	59594
Распылитель смазки	6	10504	63024	15,6	9832
Тележка самоходная грузоподъемностью 20т	2	666148	1332296	15,6	207838
Траверса	6	74631	447786	15,6	69855
Кран мостовой	2	1622527	3245054	8,4	272585
Электрический гайковерт	10	1327	13270	15	1991
Брезентовый чехол	10	152026	1520260	10	152026
Итого			37414028		7755790

$$\mathcal{C}_{\text{ОБ}} = 3,2 \cdot 7755790 / 43486,5 = 570,7 \text{ руб.}$$

$Z$  – полная заработная плата на изготовление  $1 \text{ м}^3$  трубы с учетом дополнительной зарплаты (10 % от основной), отчисления на социальное страхование (6,1% от суммы основной и дополнительной заработной платы), коэффициента 1,2, который учитывает премии за выполнение плана, и коэффициента 1,331, который учитывает налоги на заработную плату, составляет:

$$Z = r \cdot \phi \cdot 1,1 \cdot 1,061 \cdot 1,2 \cdot 1,331, \quad (128)$$

где  $\phi$  – часовая ставка рабочего–сдельщика среднего тарифного разряда,  $\phi = 298,8$  руб.;  $r$  – затраты труда на единицу изготавливаемой продукции, чел.·час/м<sup>3</sup>.

$$r = R \cdot c \cdot h / P \cdot n_c, \quad (129)$$

где  $R$  – явочное число рабочих в бригаде в сутки, чел;  $c$  – число рабочих суток в году;  $h$  – число рабочих часов в сутки;  $P$  – годовая производительность, м<sup>3</sup>;  $n_c$  – число смен в сутки.

$$r = R \cdot c \cdot h / P \cdot n_c = 78 \cdot 246 \cdot 24 / 43486,5 \cdot 3 = 3,53 \text{ чел.·час/м}^3$$

$$Z = 3,53 \cdot 298,8 \cdot 1,864 = 1966,1 \text{ руб.}$$

$\Pi$  – затраты формовочного цеха на 1 м<sup>3</sup> изделия.

$$\Pi = (D_{\Pi} + 3,5A_{зд} + 1,25\Sigma A_{cc}) / P + 0,2 \cdot Z, \quad (130)$$

где  $D_{\Pi}$  – годовое фонд заработной платы персонала цеха,  $D_{\Pi} = 2109000$  руб.;  $A_{зд}$  – отчисления на амортизацию склада готовой продукции,  $A_{зд} = 124767$  руб.;  $A_{cc}$  – отчисления на амортизацию спец. сооружений.

К спец. сооружениями являются: фундаменты под оборудование, рельсовые пути, камеры тепловой обработки с системами теплоснабжения и автоматики, эстакады и т.п. Стоимость спец сооружений при поточно-агрегатном способе производства 27001900 руб.; норматив амортизационных отчислений для спец сооружений при поточно-агрегатном способе производства составляет 6%:

$$\Sigma A_{cc} = 0,06 \cdot 27001900 = 1620114 \text{ руб.}$$

$$\Pi = (2109000 + 3,5 \cdot 124767 + 1,25 \cdot 1620114) / 43486,5 + 0,2 \cdot 1966,1 = 498,3 \text{ руб.}$$

$O$  – общезаводские затраты на 1 м<sup>3</sup> изделия.

$$O = 80 / (50 + P) + 0,3 \cdot Z, \quad (131)$$

где  $P$  – годовая производительность в тыс. м<sup>3</sup>.

$$O = 80 / (50 + 43,49) + 0,3 \cdot 1966,1 = 590,7 \text{ руб.}$$

Себестоимость производства 1 м<sup>3</sup> железобетонного изделия:

$$C_{\Pi} = 4523 + 3545,6 + 2660,6 + 181,2 + 781,8 + 170,2 + 132 + 454,4 + 6437,9 + 626,7 + 63 + 570,7 + 1966,1 + 498,3 + 590,7 = 23202,2 \text{ руб.}$$

Кроме себестоимости производства изделий одним из основных параметров для оценки проектных решений являются приведенные затраты:

$$П = C_{II} + 0,15 \cdot \sum K, \quad (132)$$

где  $\sum K$  – удельные капиталовложения, руб. (состоит из стоимостей здания, склада готовой продукции, спец сооружений, технологического и транспортного оборудования, форм, отнесенные к 1 м<sup>3</sup> изделий).

$$\begin{aligned} \sum K &= (18 \cdot 144 \cdot 29795 + 6739,2 \cdot 10242 + 27001900 + 37414028) / 43486,5 = \\ &= 4844,4 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$П = 23202,2 + 0,15 \cdot 4844,4 = 23928,9 \text{ руб./м}^3$$

Прибыль предприятия за год:

$$Pr = (Ц_1 - C_{II}) \cdot P, \quad (133)$$

где  $Ц_1$  – цена 1 м<sup>3</sup> напорной железобетонной трубы,  $Ц_1 = 24303,2$  руб.

$$Pr = (24303,2 - 23202,2) \cdot 43486,5 = 47878636,6 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости:

$$T = P \cdot \sum K / Pr$$

$$T = (43486,5 \cdot 4844,4) / 47878636,6 = 4,4 \text{ лет.}$$

Таблица 21 – Техничко - экономические показатели.

Показатели	Ед.изм.	Данные проекта
Годовой выпуск продукции	м <sup>3</sup>	43486,5
Годовая выработка на одного рабочего	м <sup>3</sup> /чел	1672,56
Трудоемкость 1 м <sup>3</sup> изделий	чел·ч/м <sup>3</sup>	3,53
Себестоимость 1 м <sup>3</sup> изделий	руб./м <sup>3</sup>	23202,2
Приведенные затраты	руб./м <sup>3</sup>	23928,9
Годовая прибыль предприятия	руб.	47878636,6
Срок окупаемости	лет	4,4

Для рентабельных предприятий срок окупаемости должен быть не более 5 лет. В данном проекте срок окупаемости составляет 4,4 года, соответственно данное предприятие можно отнести к рентабельному.



## 12. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Техника безопасности – это система мер (организационных и технических) которые направлены на создание безопасных условий труда. Одними из способов достижения безопасности являются выявления и устранения причин несчастных случаев на производстве. Эти меры включают в себя следующие действия: создание правил безопасного производства работ, ограничение доступа к частям оборудования и механизмов, представляющих опасность, меры по обеспечения электробезопасности при работе с оборудованием, ознакомление и обучение работников правилам техники безопасности.

На предприятиях по производству железобетонных изделий санитарно-гигиенические условия труда и техника безопасности относятся к одним из самых главных условий для повышения производительности труда. Тем самым гарантируется сохранение здоровья каждого из работников формовочного цеха. Ещё на стадии проектирования предприятия закладываются нормы санитарно-гигиенических условий труда, которые должны будут исполняться при его эксплуатации. Для соблюдения безопасных и нормальных санитарно-гигиенических условий труда требуется строго выполнять правила техники безопасности и производственной санитарии, которые используются на каждом предприятии по производству железобетонных изделий.

Производственные процессы при изготовлении железобетонных труб должны удовлетворять условиям СНиП 12-03-99. Безопасное ведение работ по погрузке и разгрузке, а также складские операции должны удовлетворять условиям ГОСТ 12.3.099:

1. Изготовление напорных железобетонных труб выполняется по агрегатно - поточной технологии. В процессе производства труб участвуют машины, механизмы и иные механические устройства. Работа цехового персонала ведется в зоне действия мостовых кранов.

2. В соответствии с «Правилами техники безопасности и производственной санитарии в промышленности строительных материалов» и СНиП 111-4-80 к са-

мостоятельной работе с цеховыми машинами и оборудованием по изготовлению напорных железобетонных труб допускаются лица не моложе 18 лет, которые прошли медицинское освидетельствование, были обучены правилам эксплуатации оборудования и владеют удостоверением о сдаче экзамена по технике безопасности.

3. Все электрическое оборудование, а также пульта управления в цехе должны иметь защитное заземление, что удовлетворяет «Правилам эксплуатации электроустановок».

4. Производственные операции при изготовлении труб должны выполняться в строго определенной установленной технологической последовательности.

5. Перед началом работ требуется проверить исправность и техническое состояние технологических машин, инструментов и грузозахватных приспособлений, таких как траверсы и стропы.

6. Работы на механическом оборудовании должны вестись при строгом выполнении соответствующих инструкций по технике безопасности.

7. Во время укладки бетонной смеси в форму а также при проведении тепловлажностной обработки не должно происходить самопроизвольной распалубки установки.

8. Рабочие места должны быть огорожены от прямых и мест проведения ТВО.

9. Настилы площадки, а также ступени лестниц необходимо делать из рифленой стали.

10. Перевозка грузов мостовыми кранами должны вестись по утвержденной технологической схеме.

11. Все подъемно - транспортные механизмы, грузозахватные приспособления и тары должны вовремя пройти испытания и иметь необходимые бирки с идентифицирующими надписями: обозначением номера, даты испытания и грузоподъемности.

12. Всё оборудование и механизмы должны иметь инструкции по их безопасной эксплуатации.

13. Рабочие места должны иметь освещение в соответствии с нормами освещения.

14. Ремонт машин, механизмов и технологического оборудования должен проводиться ремонтным персоналом.

15. В соответствии с СН 245-71 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий» уровень вибрации на рабочих местах не должен быть выше требуемых норм.

Техника безопасности при грузоподъемных работах:

1. Все работники формовочного цеха обязаны знать место расположения рубильников, с помощью которых можно аварийно отключить напряжение электрического крана.

2. Подъем и перемещение груза должно проводиться только по специальным сигналам стропальщика, не забывая подавать предупреждающие звуковые сигналы.

3. Крановщику запрещено оставлять на площадке и механизмах мостового крана инструменты, ремонтные детали и запасные части.

4. Перед тем, как приступить к работе, стропальщик обязан подобрать соответствующие грузозахватные устройства (траверсы, стропы), которые подходят по массе и характеру поднимаемого груза.

5. Стropальщик обязан убедиться в том, что груз хорошо закреплен, нет ли на грузе чужих деталей и посторонних людей около него.

6. Стropальщик обязан сопровождать груз во время его перемещения по цеху и следить, чтобы груз не проходил над работниками цеха и не мог за что-нибудь зацепиться.

Техника безопасности при смазке форм (оснастки):

1. Смазку форм производить с надетыми резиновыми перчатками, чтобы избежать кожных заболеваний рук при контакте со смазкой.

2. Смазку рабочих поверхностей форм выполнять строго сверху вниз.

3. В процессе смазки форм запрещены электросварочные работы, а также курение рядом.

4. Во время нанесения слоя смазки под давлением распылитель должен иметь длинную рукоятку (1,8 - 2 м).

5. Смазку распылять на рабочие поверхности полуформ равномерным слоем толщиной не более 0,2 - 1 мм.

6. Нельзя допускать попадания смазочного материала на площадки обслуживания. Если произошло попадание эмульсионной смазки на площадки, места посыпают опилками или песком, и в дальнейшем это всё утилизируется в тару под мусор.

7. Температура смазочного состава должна быть не более 60°C.

Мероприятия по пожарной безопасности:

1. Персонал формовочного цеха обязан выполнять противопожарный режим. Для обучения персонала должны быть отведены специально оборудованные места.

2. В формовочном цехе должны быть первичные средства пожаротушения: гидранты, ящики с песком, ведра, огнетушители и прочий инструмент.

3. После завершения работ силовое электротехническое и вентиляционное оборудование, радиаторы парового отопления требуется периодически очищать от грязи.

4. Все вновь поступившие на работу в формовочный цех работники обязаны пройти инструктаж по правилам противопожарной безопасности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время выполнения выпускной квалификационной работы мною был описан типовой способ производства напорных железобетонных виброгидропресованных труб. Также были описаны конструкция используемого оборудования и даны его технические характеристики. Произведен расчет оборудования, произведен расчет установки для тепловлажностной обработки, описан способ ее автоматизации. Было составлено подробное описание организации производства.

Также был рассчитан состав тяжелого бетона, который обеспечит длительный срок эксплуатации напорных труб. С точки зрения технико-экономических показателей, технологическая линия относится к рентабельным.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 12586.0–83. Трубы железобетонные напорные виброгидропрессованные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.
2. ГОСТ 12586.1–83. Трубы железобетонные напорные виброгидропрессованные. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 11 с.
3. ГОСТ 13981–87. Формы для изготовления железобетонных виброгидропрессованных напорных труб. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.
4. ГОСТ 22000–86. Трубы бетонные и железобетонные. Типы и основные параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 10 с.
5. ГОСТ 13015–2012. Межгосударственный стандарт. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 24 с.
6. ГОСТ 23009–2016. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Условные обозначения (марки). – М.: Стандартинформ, 2016. – 7 с.
7. ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
8. ГОСТ 27006–86. Бетоны. Правила подбора состава. – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.
9. ГОСТ 7473 – 94. Смеси бетонные. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1996. – 12 с.
10. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 7 с.
11. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2018. – 21 с.
12. ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.
13. ГОСТ 503–81. Лента холоднокатаная из низкоуглеродистой стали.

Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 14 с.

14. ГОСТ 7348–81. Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 13 с.

15. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих. – М.: Стройиздат, 1988. – 151 с.

16. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятия сборного железобетона (ОНТП–07–85) / Минстройматериалов СССР. – М.: 1986 – 52 с.

17. СНиП 3.09.01–85. Производство сборных железобетонных конструкций и изделий. / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 44 с.

18. Пособие по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01–85) / ВНИИжелезобетон. – М.: Стройиздат, 1989. – 49 с.

19. Правила техники безопасности и производственной санитарии в производстве сборных железобетонных и бетонных конструкций и изделий. – М.: Стройиздат, 1988. – 128 с.

20. Рекомендации по определению расчетной стоимости и трудоемкости из изготовления сборных железобетонных конструкций на стадии проектирования. – М.: Стройиздат, 1987. – 144 с.

21. Баженов, Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий / Ю.М. Баженов, А.Г. Комар. – М.: Стройиздат, 1984. – 672 с.

22. Гордон, А.Э. Автоматизация контроля качества изделий из бетона и железобетона / А.Э. Гордон, Л.И. Никулин, А.Ф. Тихонов. – М.: Стройиздат, 1991. – 300 с.

23. Погорелов, С.Н. Организация предприятий строительной индустрии: учебное пособие для самостоятельной работы студентов / С.Н. Погорелов, М.Д. Бутакова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 33 с.

24. Попов, А.Н. Бетонные и железобетонные трубы / А.Н. Попов. – М.: Стройиздат, 1973. – 269 с.

25. Попов, А.Н. Оборудование для производства бетонных и железобетонных труб / А.Н. Попов, П.А. Макаров. – М.: Издательство «Машиностроение», 1965. – 184 с.
26. Стефанов, Б.В. Технология бетонных и железобетонных изделий / Б.В. Стефанов, Н.Г. Русанова, А.А. Волянский. – Киев: Вища школа, 1982. – 406 с.
27. Трофимов, Б.Я. Технология сборных железобетонных изделий: учебное пособие / Б.Я. Трофимов. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 384 с.
28. Трофимов, Б.Я. Технология бетона, строительных изделий и конструкций: учебное пособие / Б.Я. Трофимов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 68 с.
29. Цителаури, Г.И. Проектирование предприятий сборного железобетона / Г.И. Цителаури. – М.: Высш. шк., 1986. – 312 с.
30. Чудновский, Д.М. Экономика промышленности сборного железобетона / Д.М. Чудновский. – М.: Стройиздат, 1977. – 348 с.
31. Широков, В.С. Железобетонные трубы и перспективы их производства / В.С. Широков // Бетон и железобетон. – 2004. – № 1(526). – С. 25–27.
32. Шихненко, И.В. Краткий справочник инженера-технолога по производству железобетона / И.В. Шихненко. – Киев: Будивельник, 1974. – 253 с.
33. Breitfuss. Loads and supporting strength for concrete pipe lines // Amer. Concrete Pipe Ass. 1957. – p. 32 – 49.
34. Clarke, N. W. Loading charts for the design of buried rigid pipes / N. W. Clarke // Her Majesty's Stationery Office. London, 1996. – Special Report 37. – 33p.
35. Darbour, F. The Strength of sewer Pipe and the actual Earth Pressure in Trenches. Journal of the Association of Engineering Societies, New-York, December, 1897. Bd. 19. 5, 193, bis. 241. – 297 p.
36. Fisher, A. K. The durability of cellulose fibre reinforced concrete pipes in sewage applications / A. K. Fisher, F. Bullen, D. Beal // Cement and Concrete Research. Elsevier Ltd., 2001. – №31. – p. 543 – 553.
37. Haktanir, T. Effects of steel fibers and mineral filler on the water-tightness of concrete pipes / Tefaruk Haktanir, Kamuran Ari, Fatih Altun, Cengiz D. Atis, Okan



Karahan // Cement & Concrete Composites. Elsevier Ltd., 2006. – №28. – p. 811 – 816.

38. Haktanir, T. A comparative experimental investigation of concrete, reinforced-concrete and steel- fibre concrete pipes under three-edge-bearing / Tefaruk Haktanir, Kamuran Ari, Fatih Altun, Okan Karahan // Construction and Building.

39. Shlick, W. Loads on Pipe in wide Ditches / W. Shlick. Bull. 108, LEES, 1932. – 312 p.

40. Spangler, M. G. Supporting strength of Rigid Pipe Culverts / M. Spangler. –Bull. 112, LEES, 1933. 356 p.

41. Spangler, M. G. Structural design of flexible pipe culverts / M. G. Spangler // Jowa Eng. Exp. Stat. Bull. 1933. - № 112. – p. 45 – 59.

42. Spangler M.G. Supporting strength of rigid pipe culverts / M. G. Spangler // Jowa Eng. Exp. Stat. Bull. 1941. – № 153. – p. 112 – 123.