

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**"Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет"(ННГАСУ)**

**Кафедра строительных материалов**

## **Изготовление труб и трубчатых конструкций способом центрифугирования**

**Методические указания**  
**для студентов направления 270800.62 – Строительство**  
**с профилем обучения**  
**“Производство и применение строительных материалов,**  
**изделий и конструкций”**

**Нижегород**

**ННГАСУ**

**2013**

УДК 666.972.7

Изготовление труб и трубчатых конструкций способом центрифугирования. Методические указания для студентов направления 270800 – Строительство с профилем обучения - “Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций”. -Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. –..... с.

В методических указаниях изложены основные положения изготовления железобетонных конструкций трубчатого сечения методом центрифугирования. Приведены технологические расчёты линии по изготовлению труб на роликовых центрифугах. Методические указания могут быть полезными при выполнении курсового проекта по дисциплине "Проектирование предприятий по производству строительных материалов", а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

Рис. - 9, табл. 2, библиограф. назв. 8

Составитель **Н.М.КОННОВ**

© Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2013.

## 1. Технология изготовления трубчатых конструкций

При центробежном способе форма с загруженной в нее бетонной смесью вращается с определенной скоростью вокруг своей продольной оси. Возникающая при этом центробежная сила распределяет частицы смеси по стенкам формы и, стремясь переместить их подальше от оси вращения, прижимает массу к стенкам формы, уплотняя ее. В результате в изделии создается внутренняя цилиндрическая полость, что позволяет осуществлять формование труб и трубчатых конструкций.

Внешнее очертание поперечного сечения элементов трубчатой конструкции может быть любым: круглым, многоугольным, квадратным; размеры изделий центробежного формования могут быть достаточно большими как в поперечном сечении — трубы диаметром 2 м и более, так и по длине— до 15 м и выше.

Центробежное формование (центрифугирование) осуществляется на специальных формовочных машинах - центрифугах.

Трубы центробежного формования, как и вибрационного, выпускаются безнапорными и напорными. Напорные железобетонные трубы должны обеспечивать водонепроницаемость трубопровода при внутреннем рабочем давлении в сети от 0,6 до 1,0 МПа и более. Напорные трубы выпускаются с раструбом с одного конца, что позволяет применять эффективную конструкцию непроницаемых стыков при монтаже трубопровода. Сами же трубы для обеспечения повышенной трещиностойкости при указанных давлениях подвергаются предварительному обжатию с доведением напряжения сжатия в бетоне до 10,0 – 15,0 МПа.

Трубы и трубчатые конструкции армируются сварными цилиндрическими каркасами, как правило, с ненапрягаемыми продольными стержнями в зависимости от длины изготавливаемых труб.

К трубам предъявляются высокие требования в отношении точности размеров в диаметре, гладкости внутренней поверхности и качества бетона.

Бетон в стенках напорных труб имеет обычно марку 500 (В45), его состав назначается при тщательном подборе зернового состава заполнителей.

## **1.1. Основное оборудование для центробежного формования**

### **1.1.1. Машины для центробежного формования труб**

Для центробежного формования применяются машины, в которых цилиндрическая форма с бетонной смесью вращается с заданной скоростью (см. рис. 1, 2, 3, 4). Эти станки принято называть центрифугами. В зависимости от способа закрепления форм и приведения их во вращательное движение различают три типа центрифуг для формования труб и трубчатых конструкций:

1) осевые центрифуги, в которых форма прочно зажимается в торцах между двух бабок с планшайбами, центрально насаженными на вращающиеся шпиндели;

2) свободно-роликовые, в которых форма свободно ложится своими бандажами на вращающиеся катки (ролики) и прижимается к ним под действием своего веса или прижимными верхними роликами. Передача вращения от приводного катка к форме с бетонной смесью осуществляется в результате фрикционного зацепления;

3) ременные центрифуги жироскопического типа, в которых форма свободно подвешена на ремнях и приводится во вращение благодаря силам трения между текстурными ремнями и ребрами формы.

Осевая центрифуга (рис. 1) имеет переднюю неподвижную и заднюю подвижную бабки с зажимными планшайбами для закрепления формы в торцах. Шпиндели передней и задней бабок приводятся во вращение главным и разгонным электродвигателями. В серийно выпускаемых центрифугах для формования труб диаметром от 0,5 до 1,0 м и длиной до 5 м мощность двигателей составляет 115 Квт. Центрифуга имеет защитный кожух для создания безопасных условий труда.

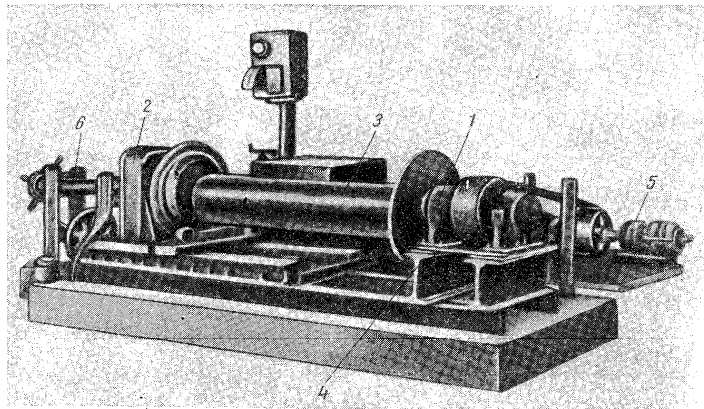


Рисунок 1. Осевая центрифуга для формования труб

1 - передняя неподвижная бабка; 2 - задняя подвижная бабка; 3 - форма; 4—станина; 5 — главный двигатель; 6 — механизм перемещения задней бабки при помощи гидравлического устройства.

Основной недостаток осевых центрифуг — трудность загрузки бетонной смеси в форму. Загрузку приходится осуществлять через центральное отверстие в одной из планшайб, что весьма усложняет конструкцию центрифуги. В случае, если формование производится на осевых центрифугах с глухими бабками или при малом диаметре изделий, когда нельзя подать смесь с торцов формы, смесь загружают в полуформу в стороне от центрифуги из самоходного бетоноукладчика после установки арматурного каркаса трубы.

Свободно-роликовая центрифуга по конструкции проще осевой и требует менее мощных двигателей. Центрифуга состоит (рис. 2, 3) из фундаментной рамы и двух или трех параллельных горизонтальных валов с насаженными на них по концам катками (роликами) в зависимости от того, формируется ли одна или две трубы одновременно; один из валов приводится во вращение от электродвигателя. Форма своими бандажами ложится на катки и вследствие значительных сил трения (при большом весе формы с бетонной смесью) приводится во вращение от катков приводного вала; остальные катки, будучи в зацеплении с бандажами формы, также приводятся во вращение. Это позволяет применять роликовые центробежные станки, формирующие

одновременно две трубы и более при одном ведущем и соответствующем количестве ведомых валов с катками.

Для обеспечения необходимого зацепления между бандажами формы и катками центрифуги необходимо, чтобы угол  $\alpha$ , образованный осью вращения формы и осями вращения двух смежных катков, был в пределах  $70...90^\circ$ .

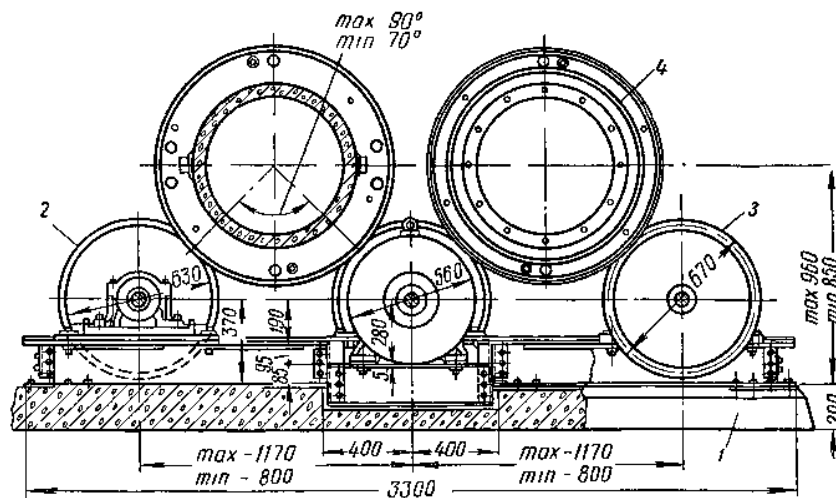


Рисунок 2. Схема роликовой центрифуги на две формы

1 – фундаментная рама; 2 – приводной (ведущий) вал с катками; 3 - ведомые валы; 4 – форма с бандажами (ребордами).

Одновальная центрифуга для центробежного формования длинных трубчатых конструкций сравнительно небольших диаметров (опор контактных сетей и линий электропередач, трубчатых свай) при длине 12...14 м и более (рис. 3).

Центрифуга состоит из четырёх поперечных рам-станин, приводного секционного вала на всю длину машины, расположенного в нижней части её ведущих роликов, насаженных на валу в плоскости поперечных рам и ведомых направляющих или прижимных роликов, укрепленных в подшипниках поперечных рам и размещаемых с боков сверху формы. Поперечные рамы, расставленные на расстоянии до 4 м друг от друга, являются промежуточными опорами для длинных форм, в которых формируются изделия.

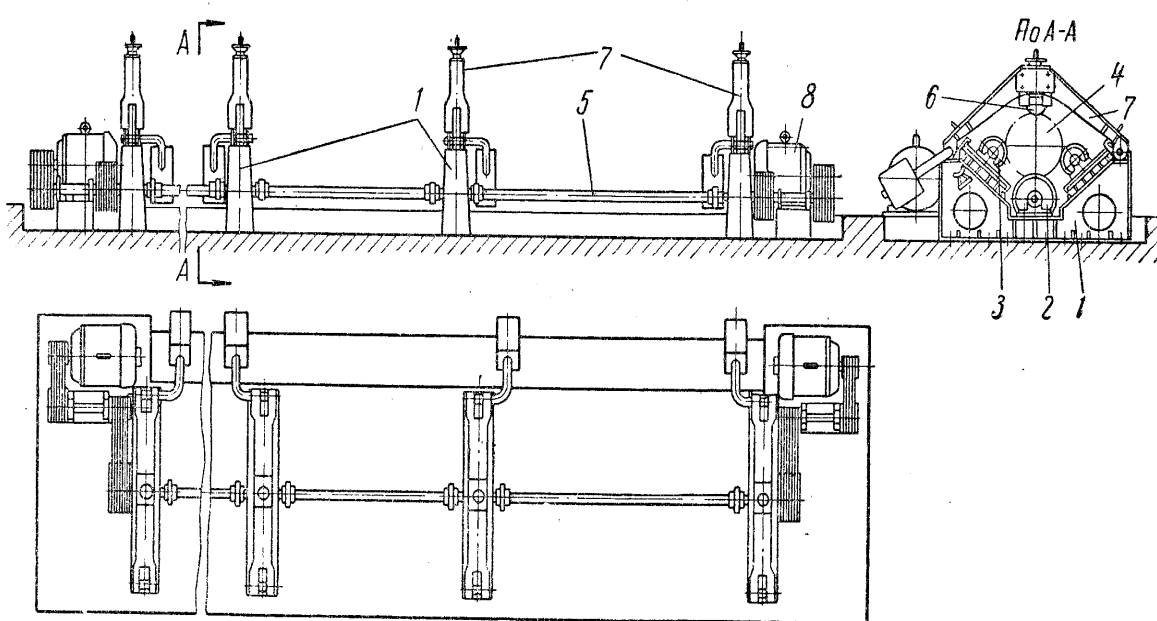


Рисунок 3. Роликовая центрифуга на одну форму

- 1 – станина; 2 – ведущий ролик на приводном валу; 3 – ведомые валы (катки);  
4 - форма; 5 – приводной секционный вал с гибкими муфтовыми соединениями;  
6 – прижимной верхний ролик; 7 – верхнее ограждение; 8 – электродвигатель.

Недостатком роликовых центрифуг является значительный шум и вибрация при работе. Причиной этого являются металлические катки, по которым с большой скоростью катятся бандажи форм, и недостаточная сбалансированность форм. При недостаточной сбалансированности формы и больших скоростях вращения формы с бетонной смесью могут возникать значительные центробежные ускорения, которые могут привести к сбрасыванию форм со станка, поэтому при работе роликовых центрифуг требуются надёжные защитные ограждения. Следует отметить, что для уменьшения шума, возникающего при работе роликовой центрифуги, опорные ролики могут выполняться с резиновым покрытием. Кроме того, помимо центробежного уплотнения смеси может быть предусмотрено дополнительное уплотнение смеси укаткой вибророллом, проходящим внутри формы. Такой способ уплотнения целесообразен тогда, когда к внутренней поверхности трубы предъявляются повышенные требования.

Ременная центрифуга (рис. 4) состоит из четырех продольных валов, из которых один ведущий соединен приводом с электродвигателем, остальные валы ведомые; по длине валов равномерно размещены катки с кольцевыми выточками для текстуропных ремней. Катки на валах вместе с надетыми на них ремнями образуют ряд параллельных опор (от четырех до шести, в зависимости от длины формуемых труб), на которые ложится своими ребрами металлическая форма. Текстуропные ремни размещены и натянуты на катках таким образом, что образуют V-образное ложе (седло) для формы.

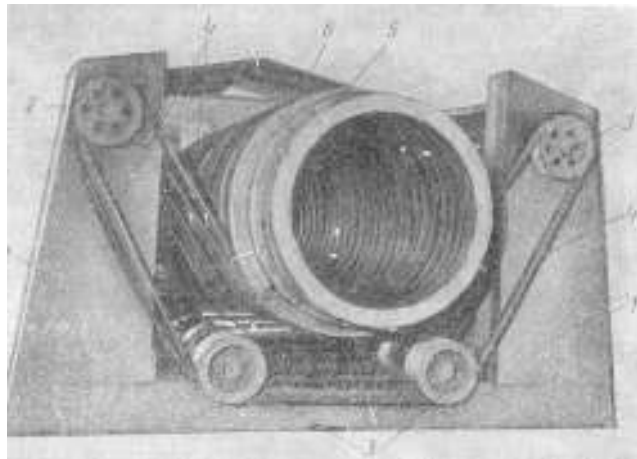


Рисунок 4. Ременная центрифуга

1 - станина; 2 - приводной вал с ведущими катками; 3 - ведомые катки;  
4 - текстуропные ремни; 5 — форма; 6 — реборды формы

В результате трения формы в точках соприкосновения ее с движущимися ремнями она плавно и бесшумно вращается. Кольцевые выточки в ребордах формы создают своеобразные пути качения формы.

Ременная центрифуга благодаря устранению вибрации и опасности выброса формы из установки позволяет развивать скорость вращения до 1500 об/мин. Мощность двигателя ременной центрифуги для труб диаметром 500...700 мм составляет 22 Квт, а для труб диаметром от 1000...1200 мм — 55 Квт.

Основным недостатком ременных центрифуг является относительно небольшой срок службы текстуропных ремней вследствие их вытягивания.



### 1.1.2. Бетоноукладчики и питатели

Подача бетонной смеси в форму, установленную на центрифуге, осуществляется специальным ложечным питателем либо бетоноукладчиком с ленточным консольным питателем (рис. 5). Ложечный питатель состоит из самоходной тележки с электроприводом и консольно выступающего длинного лотка (ложки) полуцилиндрической формы диаметром 150—250 мм.

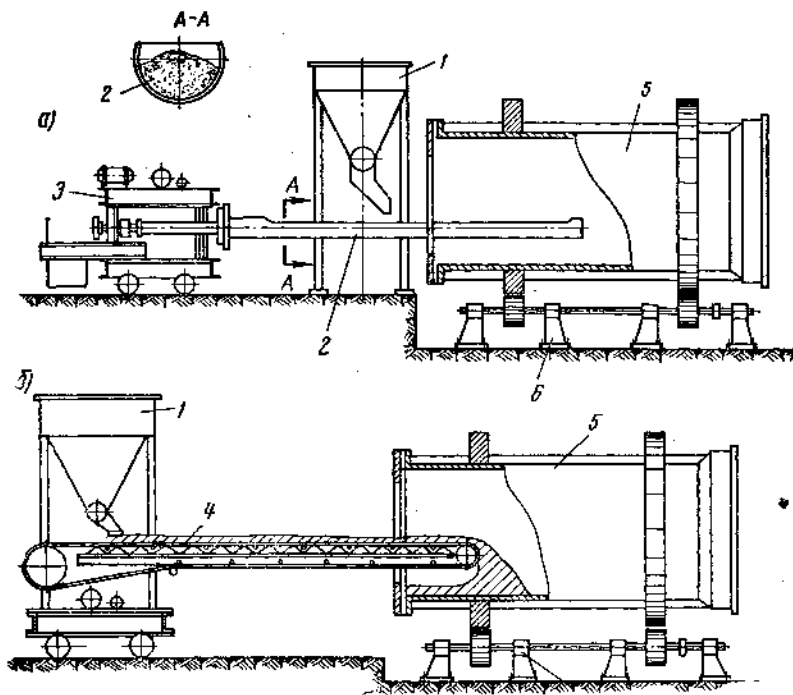


Рисунок 5. Питатели для загрузки бетонной смеси в форму  
а - ложечный; б - ленточный; 1 - бункер с бетонной смесью; 2 - полуцилиндрический лоток ложечного питателя; 3 — самоходная тележка ложечного питателя; 4 — ленточный питатель; 5 — форма; 6 — центрифуга

Длина ложки при загрузке смеси в форму с одного конца соответствует длине формы. При формах длиннее 5 м загрузка смеси производится с двух сторон. После ввода питателя с бетонной смесью в форму ложка поворачивается на 180°, и смесь выгружается равномерно по всей длине формы. Далее питатель возвращается в исходное положение и при выводе из формы проходит под расходным бункером с бетонной смесью.

При изготовлении труб большого диаметра или при двух- трехслойном

формовании с уплотнением каждого слоя трубы в отдельности загрузка смеси в форму происходит за два - три приема, что, конечно, удлиняет время загрузки.

Бетоноукладчик с ленточным питателем состоит из бункера для бетонной смеси, установленного на самоходной тележке, и из укладчика (раздатчика) смеси в виде трубчатой стрелы, которая несет узкий ленточный транспортер, подающий смесь из бункера в форму. Сначала, при движении тележки по рельсам вперед, ленточный питатель вдвигается в форму до конца, затем включается подача смеси на ленту и с ленты в форму при одновременном медленном возвратном движении бетоноукладчика в исходное положение. В исходном положении бетоноукладчик становится под расходный бункер с бетонной смесью и пополняет свой запас. Количество загружаемой в форму смеси определяется скоростью подачи ее по ленте и скоростью перемещения ленточного укладчика в форме.

### 1.1.3. Формы

Формы для изготовления труб являются одним из наиболее металлоемких и дорогостоящих видов формовочного оборудования. При центробежном формовании обычно применяются разъемные формы, состоящие из двух продольно стыкуемых половин-полуформ, стягиваемых при сборке накладными стяжными болтами. Стыковые соединения полуформ должны быть герметичными, с уплотняющими прокладками, и не допускать вытекания цементного раствора.

К полуформам в месте их стыкования между собой привариваются продольные ребра жесткости в виде уголка тяжелого профиля. С одного конца формы крепится жесткий раструб, а с противоположного конца - торцовый кольцевой фланец. В поперечном направлении формам придают жесткость бандажи с ребордами, равномерно размещенные по длине.

## 1.2. Центробежное формование труб

Процесс центробежного формования безнапорных железобетонных труб и сердечников для напорных труб складывается из ряда операций.

Операции по подготовке и сборке форм, установке и раскреплению арматурных каркасов выполняются так же, как и при формовании труб в вертикальных формах.

Смесь загружают, как правило, в собранную форму при вращении ее на центрифуге с начальной скоростью 60—80 *об/мин*. Желательно заранее отдозировать смесь. После загрузки и распределения смеси в форме число оборотов формы поднимается до наибольшего расчетного, определяемого требуемой величиной центробежного прессования смеси и диаметром трубы. В случае, если формование производится на осевых центрифугах с глухими бабками или при малом диаметре изделий, когда нельзя подать смесь с торцов формы, смесь загружают в полуформу в стороне от центрифуги из самоходного бетоноукладчика после установки арматурного каркаса трубы.

Режим формования труб на центрифуге характеризуется не только скоростью, но и продолжительностью вращения форм. Для труб среднего диаметра смесь распределяется в форме в течение 3—4 *мин*, а уплотняется 15—20 *мин* в зависимости от диаметра трубы.

В качестве примера можно привести режим центробежного формования труб диаметром от 600 до 1000 *мм* на Филевском трубном заводе в Москве.

На первой скорости - 60 *об/мин*..... 3—4 *мин*;

"второй"                    300—250 *об/мин*    6—8 *мин*;

"третьей"                  450—350 *об/мин*    9—12 *мин*.

Затем скорость постепенно, в течение 1—3 *мин*, снижается, и центрифуга останавливается. Цикл формования продолжается от 20 до 25 *мин*.

После снятия с центрифуги изделие в форме поступает на тепловую

обработку. При снятии формы с центрифуги производится слив отжатой воды.

Время, необходимое для уплотнения бетонной смеси, зависит от величины прессующего давления, создаваемого центробежными силами, которое, в свою очередь, обусловлено скоростью вращения формы и ее диаметром. Так, при центробежном давлении, равном 0,06— 0,07 МПа время центробежного формования на стадии уплотнения бетона в трубе можно принимать равным 1,5 мин на каждые 10 см диаметра трубы.

По исследованиям И. Н. Ахвердова, происходящее в процессе центробежного уплотнения отжатие воды из структурных ячеек цементного теста в бетонной смеси неизбежно приводит к образованию развитой системы направленных капилляров, которые могут служить путями фильтрации воды в процессе эксплуатации труб и, таким образом, понижать их водонепроницаемость.

Для того чтобы избежать вредного влияния направленных поровых каналов на проницаемость бетонных труб, рекомендуется формировать трубы с подачей смеси в форму в два-три приема с уплотнением каждого слоя в отдельности; при этом поровые каналы в теле бетонной трубы будут надежно перекрыты, и водонепроницаемость труб заметно повышается, хотя подобное многослойное формование и увеличивает продолжительность цикла, и снижает производительность установки. Не менее важное значение для плотности бетона в трубах имеет и режим их твердения. Как правило тепловая обработка труб должна осуществляться при температуре изотермической выдержки не выше 60 °С с замедленным подъёмом температуры на стадии нагрева.

Прочность бетона в трубах зависит от остаточного содержания воды в изделии после центробежного формования и растет пропорционально количеству отжатой воды и до тех пор, пока отжатие воды сопровождается уплотнением бетонной смеси. При быстром нарастании скорости вращения формы и повышенных значениях этой скорости может происходить слишком быстрое удаление воды из смеси, которая при этом теряет необходимую

удобоукладываемость и способность перемещаться для равномерного распределения и уплотнения. Поэтому заданные режимы центрифугирования должны точно соблюдаться. Начальная подвижность бетонной смеси для центробежного формования должна соответствовать осадке стандартного конуса 4—6 см.

### 1.2.1. Изготовление напорных железобетонных труб

Изготовление напорных железобетонных труб в большинстве случаев осуществляется по следующей, так называемой трехступенчатой, схеме:

1) предварительно методом центробежного изготавливается железобетонная безнапорная труба заданного диаметра и длины;

2) на изготовленную и отвердевшую безнапорную железобетонную трубу, выполняющую в данном случае роль сердечника, навивается спиральная арматура из высокопрочной проволоки с напряжением ее в процессе навивки для обжатия бетона в трубе в поперечном направлении до расчетной величины;

3) спиральная арматура покрывается защитным слоем толщиной 20 мм из плотного и прочного мелкозернистого бетона для предохранения от коррозии в процессе эксплуатации труб.

Величина предварительного обжатия бетона при навивке спиральной арматуры назначается с таким расчетом, чтобы в условиях эксплуатации трубы (рабочее давление с учетом гидравлического удара) в бетоне не возникали напряжения растяжения, а результирующие напряжения были бы близки к нулю.

Для спиральной навивки применяется холодотянутая высокопрочная проволока диаметром 3—4 мм, шаг навивки колеблется в пределах 15—30 мм (но не менее 7 и не более 40 мм). Первые и последние витки на концевых участках трубы накладываются более часто, и концы проволоки прочно закрепляются на трубе.

Навивка спиральной арматуры производится при вращении сердечника, зажатого в планшайбах приводного навивочного станка (аналогичного осевой центрифуге), и продольного перемещения относительно сердечника каретки, выдающей и наматывающей на сердечник натянутую проволоку. Регулируя скорость вращения сердечника и скорость перемещения каретки, можно обеспечить заданный шаг спиральной навивки.

Схема установки для навивки спиральной предварительно напряжённой арматуры приведена на рисунке 6. Предварительное напряжение арматуры достигается комбинацией механического и электротермического способа натяжения.

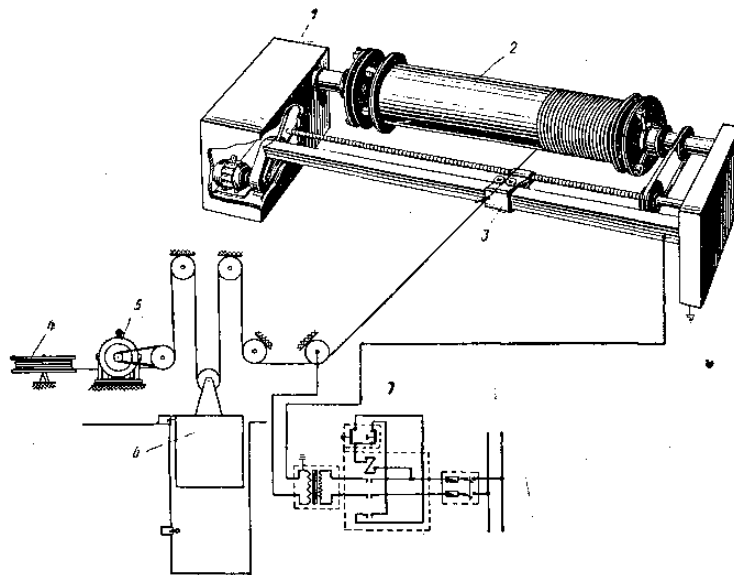


Рисунок 6. Схема, навивки спиральной арматуры на железобетонную трубу-сердечник при электротермомеханическом натяжении

1 — приводной осевой станок; 2 - железобетонная труба-сердечник; 3 — ползунк с направляющими роликами; 4 — катушка с бухтой приволоки; 5 — тормозной подающий механизм; 6 — силовое устройство для натяжения проволоки; 7 — схема питания электрическим током проволоки для ее нагрева

После навивки предварительно напряжённой спиральной арматуры на сердечник наносится защитный слой из цементного раствора, наносимый на наружную поверхность трубы для предохранения спиральной арматуры от коррозии. В настоящее время наибольшее распространение получил способ

нанесения защитного слоя торкретированием.

Торкретирование осуществляют цементно-песчаным раствором состава 1:2—1:3 в процессе медленного вращения трубы со спиральной навивкой, зажатой в планшайбах осевого станка. Благодаря весьма малому значению  $V/C$  в исходной смеси и хорошему уплотнению обеспечиваются повышенная плотность раствора (средняя плотность до 2,2—2,4 кг/м<sup>3</sup>), хорошее сцепление его с сердечником трубы; а также высокая прочность при сжатии в последующем (до 300—400 кг/см<sup>2</sup>). Однако этот способ нанесения защитного слоя раствора обладает и рядом существенных недостатков, к которым относятся: тяжелые условия труда сопловщиков, работающих в респираторах, необходимость создания специальных камер, необходимость предварительной сушки песка для поддержания строго нормализованной влажности растворной смеси, потери раствора при отскоке, особенно при нанесении первого слоя, и в связи с этим — потери цемента и песка. Повторное использование отскока в качестве заполнителя возможно, но для этого требуются подсушка и измельчение схватившихся частиц.

В настоящее время стремятся заменить торкретирование другими, более эффективными способами, например нанесением защитного слоя высококачественного цементного раствора на поверхность трубы с тщательным его виброуплотнением. Известны способы нанесения при вертикальном положении трубы в медленно перемещающейся вверх скользящей виброопалубке и в горизонтальном положении при медленном вращении трубы, по принципу скользящего виброштампа. Схема нанесения защитного слоя методом скользящего виброштампа приведена на рисунке 7.

## **2. Теоретические основы центробежного способа уплотнения бетонной смеси**

Развивающиеся при центробежном формировании силы сообщают частицам смеси ускорения, пропорциональные массе частицы, квадрату угловой

скорости и расстоянию от оси вращения.

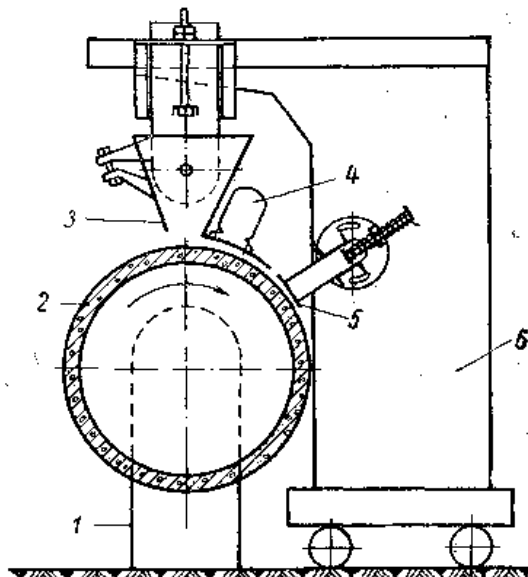


Рисунок 7. Нанесение защитного растворного слоя на спиральную навивку трубы методом скользящего виброштампа «с направленным вибрированием»

1 - осевой станок для вращения трубы; 2 - труба; 3 - бункер с растворной смесью; 4 - виброштамп; 5 - заглаживающее устройство; 6 - катучая рама

Эти силы по существу являются теми силами, которые осуществляют прессование бетонной смеси, с давлением, направленным радиально к стенкам формы. Однако в данном случае процесс уплотнения несколько отличается от обычного прессования, так как при центробежном формовании применяются подвижные и пластичные смеси с повышенным содержанием вяжущего и воды. При центробежном формовании вода, заполняющая поры в смеси, как наиболее легкий компонент отжимается к внутренней поверхности изделия, что способствует уплотнению бетонной смеси. Перемещение частиц при уплотнении пластичной и подвижной смеси, обладающей пониженным коэффициентом внутреннего трения, происходит легче, чем в смесях жестких и полусухих. Все это приводит к тому, что для уплотнения



смеси при центробежном формовании требуется значительно меньшая сила прессующего давления, нежели при обычном формовании из жестких смесей. При принятых скоростях вращения форм и диаметрах формируемых изделий из обычного бетона величина прессующего давления при центробежном формовании находится примерно в пределах 0,07—0,15 МПа.

Процесс формования изделий центробежным способом можно условно разбить на две неразрывные стадии:

а) распределение бетонной смеси по стенкам формы и создание ((образование) внутренней полости в виде тела вращения (т. е. формование трубчатого изделия)

б) уплотнение бетонной смеси в отформованном изделии.

На первой стадии бетонная смесь загружается во вращающуюся вокруг своей продольной оси форму. При вращении частицы бетонной смеси под действием центробежных сил стремятся равномерно распределиться по стенкам формы. Вместе с тем каждая частица смеси находится под действием силы тяжести. Равнодействующая этих двух сил в любой точке окружности (рис. 1) при массе частицы  $m=1$  определяется по формуле

$$P = \sqrt{(r \times \omega)^2 + g^2 - 2 \times r \times \omega^2 \times g \times \cos \alpha} \quad (1)$$

где  $r$  - расстояние от центра вращения до отдельной частицы бетонной смеси в см;

$\omega$  - угловая скорость в  $\text{сек}^{-1}$ ;

$g$  - ускорение свободного падения, равное  $981 \text{ см/сек}^2$ ;

В самой нижней точке формы при  $\cos \alpha = -1$  эта равнодействующая равна  $r \times \omega^2 + g$ , т. е. давление на частицу, прижатую к стенке формы, от собственного веса и от центробежной силы суммируется. В самой верхней точке формы суммарное давление равно разности этих двух сил  $r \times \omega^2 - g$ .

Для того чтобы частицы смеси, поднятые при вращении формы в самое верхнее положение, не отрывались от ее стенок и не падали, необходимо, чтобы соблюдалось равенство (минимально)  $r \times \omega^2 = g$ . Это равенство может быть достигнуто при соответствующем значении скорости вращения для

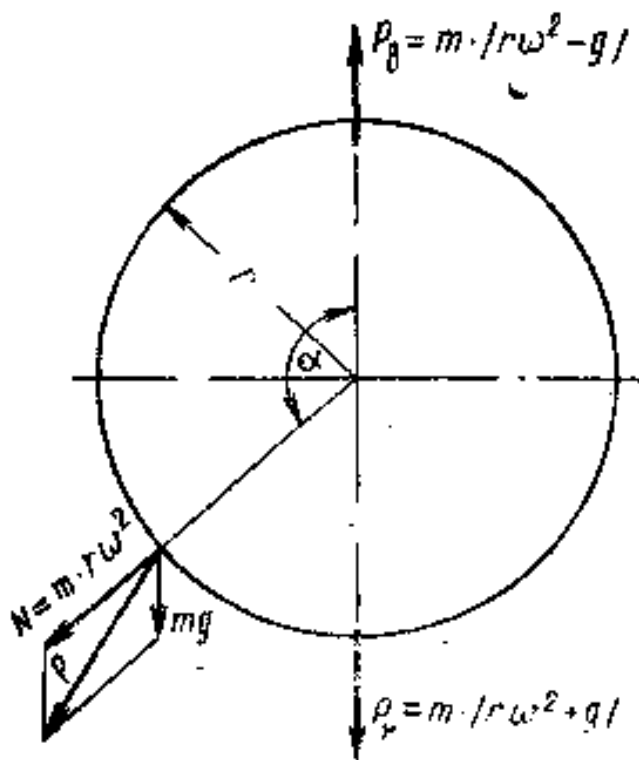


Рисунок 8. Схема действия сил на частицы бетонной смеси при центробежном формовании

каждого диаметра труб. Подставляя вместо угловой скорости формы число ее оборотов, получим минимально необходимое число оборотов формы на первой стадии формования [1]

$$n_{\min \text{ распр}} = \frac{300}{\sqrt{r}}, \text{ об/мин.} \quad (2)$$

где  $r$  — радиус формы в см.

Это теоретически подсчитанное число оборотов на практике должно быть увеличено на 25...30 %, учитывая сотрясения и толчки формы при ее вращении.

В.И. Сорокер рекомендует для определения числа оборотов формы на стадии распределения смеси формулу [3]

$$n_{распр} = 42 \sqrt{\frac{l}{r}}, \text{ об/мин.} \quad (3)$$

где  $r$  — внутренний радиус формы, м.

Для труб среднего диаметра начальная скорость вращения колеблется в пределах 60—150 об/мин. Большие значения числа оборотов соответствуют меньшим диаметрам формы.

На стадии уплотнения для увеличения центробежных сил, прижимающих бетонную смесь к стенкам формы скорость вращения формы значительно повышается, она должна находиться в пределах 400—900 об/мин в зависимости от диаметра формы и требуемой центробежной силы для прессования бетона.

Величина центробежной силы может быть определена из формулы [1, 3]

$$N = \frac{\rho \times \omega^2}{10 \times 3 \times g} \times \left( R^2 - \frac{r^3}{R} \right), \quad \text{МПа} \quad (4)$$

где  $\rho$  - средняя плотность бетонной смеси в кг/см<sup>3</sup>;

$R$  и  $r$  - внешний и внутренний радиусы формируемой трубы в см;

$\omega$  - угловая скорость в сек<sup>-1</sup>;

$g$  - ускорение силы тяжести, равное 981 см/сек<sup>2</sup>.

Принимая среднюю плотность бетонной смеси равным 2400 кг/м<sup>3</sup> или 0,0024 кг/см<sup>3</sup>, и подставляя вместо угловой скорости число оборотов формы

в минуту  $\left( \omega = \frac{2 \times \pi \times n_{упл}}{60} \right)$ , а также обозначая выражение  $\left( R^2 - \frac{r^3}{R} \right)$

через  $A$ , получим уравнение для подсчета необходимого числа оборотов формы, обеспечивающего получение заданной величины центробежного давления [1, 3]:

$$N = \frac{0,024}{10 \times 265} \times A \times \left( \frac{n_{\text{упл}}}{100} \right)^2, \quad \text{МПа} \quad (5)$$

Формула (5) применима для определения центробежной силы при средней плотности бетонной смеси 2400 кг/м<sup>3</sup>. При изготовлении трубчатых конструкций из бетонной смеси со средней плотностью более или менее 2400 кг/м<sup>3</sup> центробежную силу можно рассчитать по формуле

$$N = \frac{\rho \times 9,87}{10 \times 265} \times A \times \left( \frac{n_{\text{упл}}}{100} \right)^2, \quad \text{МПа} \quad (6)$$

где  $\rho$  - средняя плотность уплотнённой бетонной смеси, кг/см<sup>3</sup>.

Число оборотов формы в период уплотнения определяется по формуле

$$n_{\text{упл}} = 100 \times \sqrt{\frac{265 \times 10 \times N}{\rho \times 9,87 \times A}}, \quad \text{об / мин} \quad (7)$$

Число оборотов формы в период уплотнения при  $\rho=2400\text{кг/м}^3$  подсчитывается по формуле [1, 3]

$$n_{\text{упл}} = 100 \times \sqrt{\frac{265 \times 10 \times N}{0,0236 \times A}}, \quad \text{об / мин} \quad (8)$$

Годовая производительность центрифуги может быть подсчитана по формуле [3]

$$Q = \frac{60 \times T \times t \times V \times k_{\text{исп}}}{t_{\text{ц}}} \quad \text{м}^3 / \text{год} \quad (9)$$

где  $T$  - количество рабочих дней в году. Определяется в соответствии с нормами технологического проектирования ОНТП 07-85.

$t$  - количество рабочих часов в сутки. Определяется в соответствии с нормами технологического проектирования ОНТП 07-85.

$V$  - объём бетона в изготавливаемой трубе, м<sup>3</sup>.

$k_{\text{исп}}$  - коэффициент использования оборудования, равный 0,85...0,95.

$t_{\text{ц}}$  - продолжительность цикла изготовления трубы, мин.

Приложения

Характеристики центрифуг [6]

Наименование показателя	СМЖ-106А	СМЖ-104А	СМЖ-169А	2П-273
	роликовые			Клиноре- мённая
Вид изделий	Безнапорные трубы, сваи- оболочки		Опоры ЛЭП и др.	Безнапорные трубы, сваи- оболочки
Размер изделий, м диаметр длина	0,4...0,9 5,145	1,0...1,5 5,135...5,155	до 0,5 до 13,5	0,5...0,9 5,15
Скорость вращения форм, об/мин при распределении смеси при уплотнении приводного опорного ролика	80,5... 124,5 307...500 ---	63...76 244...304 ---	80...120 300...500 211, 315, 374, 628	90...150 260...570 ---
Мощность, кВт	55,6	75,6	55,4	55,0
Масса, т	15,2	16,77	11,2	15,8
Габаритные размеры	18×5,62×2,9	19×5,2×3,45	17,08×3,45×1,29	6,5×4,76×4,0
Завод-изготовитель	Брянский завод ирригационных машин			

Техническая характеристика установки НИИСтроммаша для изготовления  
цилиндрических каркасов диаметром до 500 мм [8]

Наименование показателя	Численное значение
Производительность , м/час	180
Шаг подачи каркаса, мм	250
Габаритные размеры, мм Длина Ширина Высота	15700 520 1980
Масса, кг	8000
Диаметр изготавливаемых каркасов, мм	300, 380, 490
Количество продольных проволок, шт	5, 6, 8
Диаметр продольных проволок, мм	6
Диаметр проволоки в спирали, мм	4
Шаг спирали, мм	250
Длина каркаса, мм	6000

Пример расчёта параметров центрифугирования свай-оболочек

Задание на проектирование:

Рассчитать технологическую линию по изготовлению центрифугированных свай-оболочек диаметром 1,2 м. Производительность линии по бетону 10000 м<sup>3</sup>/год. Объём одной свай-оболочки 1,73 м<sup>3</sup>. Внешний диаметр свай-оболочки 1,2 м, внутренний - 1,0 м.

Решение:

На основании литературных данных, а также опыта работы завода мостовых железобетонных конструкций (г. Н.Новгород) определяем продолжительность операций, на которых занята центрифуга:

1. Установка подготовленной формы на центрифугу ..... 2 мин;
2. Подача и распределение бетонной смеси в форму ..... 15 мин;
3. Уплотнение бетонной смеси на первой скорости ..... 10 мин;
4. Уплотнение бетонной смеси на второй скорости ..... 15 мин;
5. Торможение и остановка центрифуги ..... 2 мин;
6. Выдержка изделия на центрифуге ..... 15 мин
- Снятие формы с центрифуги ..... 1 мин;

Итого ..... 60 мин

Скорость вращения центрифуги на стадии распределения бетонной смеси определится из формулы

$$n_{распр} = 42 \times \sqrt{\frac{1}{r}} = 42 \times \sqrt{\frac{1}{0,5}} = 59,4 \text{ об / мин}$$

Принимаем скорость вращения центрифуги на стадии распределения бетонной смеси  $n_{распр} = 65 \text{ об / мин}$

Первая скорость вращения центрифуги на стадии уплотнения бетонной смеси при уплотняющей силе  $N=0,08 \text{ МПа}$  определится из формул

$$A = R^2 - \frac{r^3}{R} = 60^2 - \frac{50^3}{60} = 1517$$

$$n_{\text{упл}} = 100 \times \sqrt{\frac{265 \times 10 \times N}{0,0236 \times A}} = 100 \times \sqrt{\frac{265 \times 10 \times 0,08}{0,0236 \times 1517}} = 245, \quad \text{об / мин}$$

Вторая скорость вращения центрифуги на стадии уплотнения бетонной смеси при уплотняющей силе  $N=0,12$  МПа определится из формулы

$$n_{\text{упл}} = 100 \times \sqrt{\frac{265 \times 10 \times N}{0,0236 \times A}} = 100 \times \sqrt{\frac{265 \times 10 \times 0,12}{0,0236 \times 1517}} \approx 300, \quad \text{об / мин}$$

Годовая производительность центрифуги определится по формуле

$$Q = \frac{60 \times T \times t \times V \times k_{\text{исп}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{60 \times 16 \times 253 \times 1,73 \times 0,85}{60} = 5952 \quad \text{м}^3 / \text{год}$$

Таким образом, для выполнения годовой программы принимаем две роликовых центрифуги СМЖ-104А.



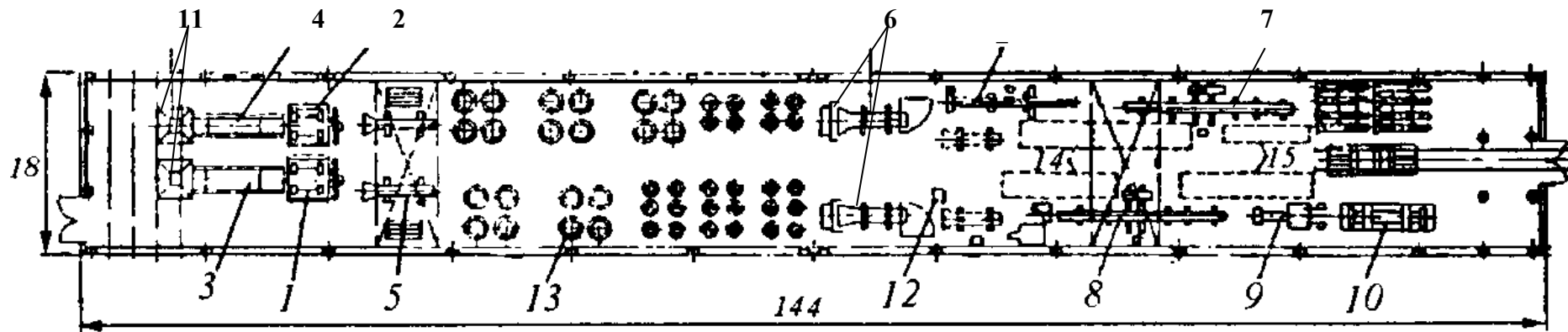


Рисунок 9. Схема расположения оборудования в унифицированном пролёте по производству центрифугированных труб

1 - центрифуга для труб диаметром 400-900 мм, 2 - центрифуга для труб 1000-1500 мм, 3 - ложковый питатель для труб 400-900 м, 4 - ложкозый питатель для труб 1000-1500 мм; 5 - стенд для снятия бандажей и кантования форм в вертикальное положение, 6 -пост распушки, чистки, смазки форм; 7 - станок для изготовления раструбных каркасов труб 400-900 мм; 8 - станок для изготовления каркасов труб 1000-1500 мм; 9 - пресс для механических испытаний; 10- установка для гидравлических испытаний; 11- бункер раздаточный, 12 - пневмошлифоралка; 13 - пост тепловой обработки; 14 - площадки для хранения каркасов; 15 - площадки для хранения арматуры

Список использованной литературы

1. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. -М.: Стройиздат, 1965. - 327 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. Издательство Ассоциации строительных вузов. -М.: 2003. -500 с.
3. Сорокер В.И. Примеры и задачи по технологии бетонных и железобетонных изделий. -М.: "Высшая школа", 1972. -296 с.
4. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. МИСИ, 1984, -662 с.
5. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Трескова Н.В. Проектирование предприятий по производству строительных и изделий. Издательство Ассоциации строительных вузов. -М., 2005,
6. Производство сборных железобетонных изделий:Справочник /Г.И.Бердичевский, А.П.Васильев, Л.А.Малинина и др.; Под ред. К.В.Михайлова, К.М.Королева.-М.:Стройиздат, 1989.-477с.
7. Борщ И.М., Прыкин Б.В., Белогулов В.П., Коробкова Е.М. Проектирование заводов сборного железобетона. –Киев: "Будивельник", 1968. -268 с.
8. Родин И.И., Иванов В.Ф., Долгачёва Т.И. Основы проектирования заводов железобетонных изделий. –М.: "Высшая школа", 1966. -312 с.

## Содержание

1. Технология изготовления трубчатых конструкций .....	3
Основное оборудование для центробежного формования .....	4
Машины для центробежного формования труб .....	4
Бетоноукладчики и питатели .....	9
Формы .....	10
Центробежное формование труб .....	11
Изготовление напорных железобетонных труб .....	13
2. Теоретические основы центробежного уплотнения бетонной смеси .....	15
Приложения: .....	21
Приложение 1. Характеристики центрифуг .....	22
Приложение 2. Техническая характеристика установки НИИСтроммаша для изготовления цилиндрических каркасов диаметром до 500 мм.....	22
Приложение 3. Пример расчёта параметров центрифугирования свай-оболочек .....	23
Список использованной литературы .....	26

**Коннов Николай Михайлович**

**Изготовление труб и трубчатых конструкций  
способом центрифугирования**

**Методические указания  
для студентов направления 270800 – Строительство  
с профилем обучения  
“Производство и применение строительных материалов,  
изделий и конструкций”**

ЛР ..... от .....

---

Подписано к печати

Бумага ..... Формат 60x90 1/16. Печать трафаретная.

Уч. изд. л. .... Усл. печ. л. ....

Тираж ..... экз. Заказ № .....

Нижегородский государственный архитектурно-строительный  
университет, 603600, Н.Новгород, Ильинская, 65

Полиграфический центр ННГАСУ, 603600, Н.Новгород,  
Ильинская, 65