

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОПЕРЕЧНЫМИ СЕЧЕНИЯМИ РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Г.П. Пастушков – доктор технических наук, профессор БНТУ
В.Г. Пастушков – кандидат технических наук, доцент БНТУ

Аннотация

Способ центрифугирования для производства элементов кольцевого сечения показал высокую эффективность при применении в качестве конструкций самого различного назначения. В настоящее время в Республике Беларусь накоплен достаточно большой опыт изготовления центрифужированных железобетонных труб, опор линий электропередач, осветительных мачт и опор контактной сети, колонн одноэтажных и многоэтажных зданий. Для инженерных сооружений вполне обоснована экономическая целесообразность расширения области эффективного применения центрифужированных линейных элементов, имеющих другие формы сечения, отличные от кольцевых. Проекты ряда уникальных зданий и сооружений с применением центрифужированных элементов были разработаны при научном сопровождении БНТУ.

The way of centrifugation for manufacture of elements of ring sectional view has shown high efficiency at application as the designs most of different function. Now in Belarus enough wide experience manufacturing centrifugal concrete pipes, bearers of electric mains, lighting masts and bearers of an overhead contact system, columns of one-storeyed and many-storeyed buildings is saved up. For engineering constructions economic feasibility of expansion of area of effective application the linear centrifugal elements having other forms of sectional view, the distinct from ring is quite proved. Projects of some unique buildings and constructions with application centrifugal elements have been developed at scientific support BNTU.

Введение

Сущность изготовления линейных элементов методом центрифугирования заключается в том, что при вращении формы с бетонной смесью вокруг неподвижной оси возникает прессующее центробежное давление, под влиянием которого из цементного геля отжимается жидкость со взвешенными вне высокодисперсными фракциями и одновременно сближаются более крупные частицы твердой фазы. Центробежный бетон при однослойном формовании без пластифицирующих добавок отличается от изготовленного с виброуплотнением неоднородным распределением зерен заполнителя по толщине стенки изделия, так как более крупные зерна отжимаются к наружной поверхности, а более мелкие – к внутренней. В связи с этим, к недостаткам центрифужированного бетона при однослойном формовании следует отнести его анизотропность по сечению и изменение прочностных характеристик по толщине стенки.

При изготовлении образцов на ременной центрифуге при однослойном формовании И.Н. Ахвердовым [1] установлена такая структурная анизотропия бетона:

- на наружной поверхности происходит наиболее плотное отжатие воды и уплотнение цементного теста;
- в средней части сечения значительная неоднородность цементного камня обусловлена наличием в нем радиальных фильтрационных каналов, размеры сечения и количество которых возрастают от наружной к внутренней поверхности изделия;
- по мере приближения к внутренней поверхности изделия микрокапилляры соединяются и образуют макрокапилляры, которые затем составляют систему дисперсных протоков, исчезающих вследствие разжижения цементного геля водой, вытесненной из вышерасположенных зон.

Все это привело к утверждению, что прочность центрифужированного бетона по толщине изделий меняется.

Поэтому задача в совершенствовании технологии центрифугирования состояла в том, чтобы получить бетоны с более равномерной структурой и уменьшить расхождение в показателях прочности бетона по толщине стенки изделий.

При послойном центрифугировании при уплотнении отдельных слоев малой толщины заполнитель распределяется более равномерно, при укладке последующих слоев зерна заполнителя внедряются во внутреннюю часть предыдущих с избыточным содержанием цементного геля, уменьшается количество и сечение фильтрационных каналов.

Для снижения анизотропии при центрифугировании эффективным является применение комплексных добавок, понижающих водопотребность и сохраняющих ее

вязко-пластические свойства. При этом способ модификации полимерами открывает широкие возможности для получения центрифужированных бетонов с заданными свойствами.

Основные элементы технологического оборудования – центробежный станок и опалубочная форма.

Известны три типа центробежных станков: осевой (шпиндельный), свободно-роликовый и ременной.

Наибольшее распространение в мировой практике для изготовления центрифужированных элементов получили свободно-роликовые станки. К достоинствам роликовых центрифуг следует отнести возможность изготовления элементов большого диаметра и длины. Например, на заводах некоторых фирм (ФРГ, Англия, США и Швейцария) эксплуатируются центрифуги, на которых могут изготавливаться элементы диаметром до 3,6 м и длиной до 60 м.

В Республике Беларусь на роликовых центрифугах можно изготавливать элементы диаметров до 800 мм и длиной до 26 м. Максимальное число оборотов опалубочной формы достигает 450 об/мин.

Ременные центрифуги позволяют формировать изделия на более высоких скоростях вращения опалубочных форм (1200- 1300 об/мин), чем роликовые. Опалубочная форма на ремнях самобалансируется. Ременной технологии формования присуще плавное вращение формы в гироскопическом режиме при полном отсутствии вибрации. А если применить конструктивные предложения по генерации высокочастотных колебаний формы, действующих в направлении перпендикулярном центробежным силам, это позволит получить практически однородную структуру бетона с высокими механическими свойствами.

Изготовление арматурных каркасов, укладка бетонной смеси и сборка опалубочных форм осуществляется на специальных стендах. На стендах осуществляется автоматизированная навивка и сварка арматуры каркасов.

При использовании ременных центрифуг и изготовлении изделий в опалубочных формах диаметром 500 мм и выше подача бетонной смеси может производиться ленточными питателями в форму, уложенную на ремни центрифуги. В остальных случаях укладка бетонной смеси в полуформу производится с помощью бетоноукладчика. При использовании ленточного питателя возможна подача бетона отдельными порциями и создание многослойного изделия, в том числе отдельными фактурами или защитными слоями из полимербетона, стафффибробетона и т.д.

Длительность всего процесса центрифугирования, включая время набора и снижения скорости, подачи и уплотнения бетонной смеси зависит от длины, диаметра и

толщины стенки изделия, но, как правило, не превышает 20...25 мин.

Анализ существующих технологий показывает, что центробежный способ формования линейных изделий из высокопрочного бетона прост, не требует сложного оборудования, обладает высокой производительностью.

Основная часть

В 1976 г. ЦНИИпромзданий, ПИ-1, Белпромпроект и Белорусским политехническим институтом была предпринята попытка применить центрифугированные элементы кольцевого сечения в качестве колонн многоэтажных зданий. Проведенные первые испытания опытных образцов узловых сопряжений выявили отличительные особенности этого класса конструкций. Необходимо было преодолеть не только технологические трудности при изготовлении изделий, но и обеспечить очень высокую несущую способность тонкостенных колонн, достигающую 5000 кН и более при строго ограниченных размерах сечения.

Применение таких способов центрифугирования как послойное формование, центробежный прокат, циклическое центрифугирование, совмещение центрифугирования бетонной смеси с вибрированием прокаткой, реверсивное центрифугирование, модификация центрифугированного бетона при помощи комплексных химических добавок и т.п. позволяет решать задачу получения бетонов высокой прочности для сильнонагруженных колонн многоэтажных зданий.

Для реализации поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

- разработать единую систему унифицированных изделий, на основе которой может осуществляться строительство зданий и сооружений с различными объемно-планировочными и конструктивными решениями;
- выявить принципиальные особенности технологии изготовления центрифугированных изделий с различными формами поперечного сечения (кольцевое, квадратное, прямоугольное, тавровое (рис.1...3));
- исследовать физико-механические свойства центрифугированного бетона с многослойным формованием и его совместную работу с арматурой (рис.4);
- провести экспериментальные и теоретические исследования напряженно-деформированного и предельного состояний предлагаемых изделий и узлов их сопряжений;
- оценить действительную работу несущих элементов в составе пространственных систем зданий.

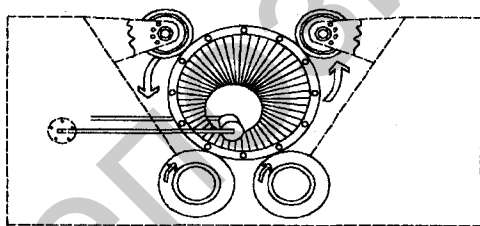


Рис.1 Принципиальная схема изготовления изделия по способу «центрифугирование + вибрирование + прокатка»

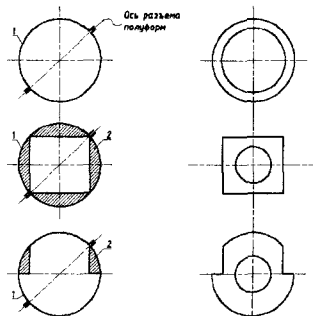


Рис.2 Переназначение цилиндрической формы
Цилиндрическая форма; 2- вкладыши

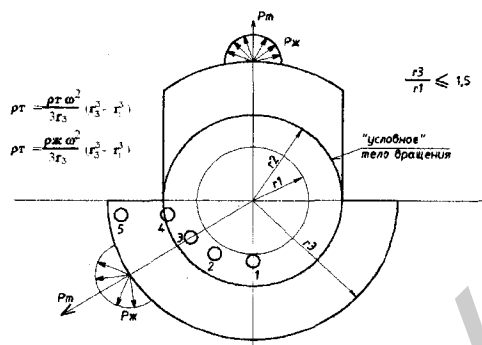


Рис.3 Схема действия жидкой и твердой фаз бетонной смеси на стенки формы ригеля таврового сечения

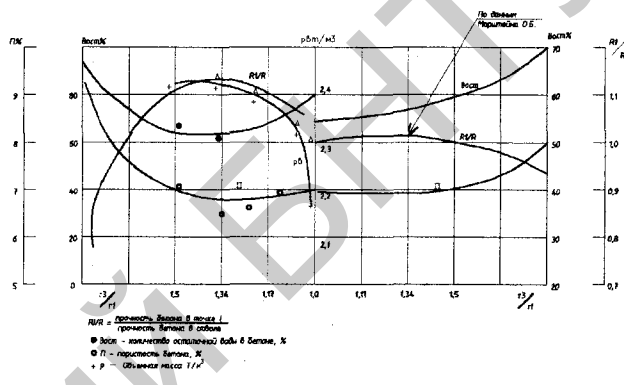


Рис.4 Физико-механические свойства бетона при одностороннем и реверсивном режиме центрифугирования [4]

В условиях проводимого в Республике Беларусь эксперимента по сокращению материальных, трудовых затрат и снижению сметной стоимости строительства осуществлено экспериментальное проектирование и строительство многоэтажных зданий с гибкой планировочной схемой, в том числе железобетонных гаражей-стоянок [5].

На основе вариантного проектирования схем расстановки автомобилей доказано, что наибольшая функциональная эффективность и более простая конструктивная схема достигается в центрическом решении, когда значительная часть функций развивается не по прямой линии, а вокруг одной точки-центра. Экспериментальное здание многоэтажной стоянки в объемно-планировочном решении представляет собой цилиндрический объем стоянок автотранспорта с ремонтными службами под ними диаметром 56м, с высотой первого этажа – 4,2м, рядового этажа – 3,3м.

Для гаража - стоянки принято шесть витков наклонных междуэтажных перекрытий. Каркас круглого в плане здания решен с использованием следующих несущих элементов: многоэтажных центрифугированных колонн кольцевого сечения; треугольных плит перекрытия размером на ячейку здания; стеновых панелей высотой на этаж; диафрагм жесткости. Каркас здания решен по связевой схеме: общая устойчивость его обеспечивается постановкой вертикальных диафрагм жесткости по двум кольцевым осям, являющимися также противопожарными перегородками, которые объединены дисками горизонтальных и наклонных перекрытий.

Белорусским национальным техническим университетом (БНТУ) совместно с проектными и производственными организациями России (Оргэнергострой, Теплоэлектропроект, Горьковский Промстройпроект) проведен комплекс исследований, проектных и научных работ по внедрению колонн квадратного полого сечения для многоэтажных зданий энергетического строительства.

Разработан сортамент предварительно напряженных колонн для 2...9-этажных зданий энергетического строительства.

В качестве объекта внедрения был принят семиэтажный инженерно-лабораторный корпус (г. Воронеж, РФ). Каркас здания решен по связевой системе.

Санкт-Петербургским филиалом института «Оргэнергострой» осуществлено перепроектирование цилиндрической формы с возможностью изготовления предварительно напряженных центрифугированных колонн квадратного сечения с наружными размерами 400x400 мм и длиной до 22,1 м.

Это позволило применить все другие конструктивные элементы каркаса здания по типовой серии 1.020-1/83 без изменений.

В цилиндрическую форму был введен желоб из листовой стали толщиной 4 мм, имеющий квадратное сечение с закругленными углами и разрез в месте разреза формы. Технология изготовления предварительно напряженных колонн отработана на действующей технологической линии Волжского комбината производственных предприятий (г. Рыбинск). Изготовление колонн производилось на всю высоту здания на роликовой центрифуге, однако по предложению монтажников была предусмотрена разрезка семиэтажной колонны на два монтажных элемента высотой на три и четыре этажа. Пространственные арматурные каркасы колонн собирались в специальном кондукторе в арматурном цехе и на пост подготовки и сборки форм поступали в готовом собранном виде. На специальном стенде осуществлялось протаскивание напрягаемых стержней, их предварительное напряжение и фиксация. Под собранный каркас производилась закладка нижней полуформы, затем бетонирование, установка верхней полуформы и сбалчивание полуформ между собой. Укладка бетонной смеси в полуформу производилась при помощи бетоноукладчика эстакадного типа, движущегося по рельсовой колее.

Так как изготавливаемые изделия имели толщину стенки 80-100 мм, укладка бетона в полуформу производилась с непродолжительным вибрированием.

После установки верхней полуформы и затяжки болтов заполненную форму переносили мостовым краном на роликовую центрифугу.

Был принят следующий режим центрифугирования:

Частота вращения 50-90 об/мин - 2 мин;

Частота вращения 200-300 об/мин - 1 мин;

Частота вращения 300-380 об/мин - 2 мин;

Частота вращения 380-450 об/мин - 15 мин;

Затем форму с изделием переносили в пропарочную камеру и после тепловой обработки – на пост распалубки.

Центрифугированные колонны формовались бесконсольными. Это позволило в одной опалубочной форме изготовить все предусмотренные проектом марки колонн. В зависимости от местоположения колонн в каркасе здания при примыкании диафрагм жесткости, лестничных клеток, стеновых панелей и т.д. применялись колонны двухконсольные, одноконсольные и бесконсольные. Устройство консоли осуществлялось после изготовления ствола путем приварки опорного металлического столика к закладной детали в стволе колонны.

Стык колонн решен контактными со сваркой по контуру торцовых металлических листов, к которым приваривались четыре анкерных стержня и передачей усилий через тонкий цементно-песчаный раствор.

Было проведено серии испытаний опытных образцов стыков центрифугированных колонн квадратного сечения с круглой полостью. Разрушение опытных образцов произошло при сжимающей нагрузке по стволу колонны, т.е. стыки оказались более прочными.

Наиболее простым для изготовления консолей колонн является способ создания консоли путем приварки опорного столика к закладной детали колонны. Закладная деталь колонны представляет собой прямоугольную пластину толщиной 16 мм с шестью анкерами диаметром 22 мм из стали класса S400, приваренные в раззенкованные отверстия.

Испытания опытных образцов проводились в вертикальном положении ствола колонны. При проведении испытаний измерялись относительные деформации волокон элементов столика и закладной детали, продольные и поперечные деформации бетона по длине зоны анкерной арматурных стержней, вертикальные и горизонтальные смещения закладной детали, прогибы опорного столика.

Применение центрифугированных колонн квадратного полого сечения вместо колонн сплошного сечения по типовой серии 1.020-1/83 для конкретного объекта позволило снизить расход бетона на 31 %, сократить количество марок колонн в 2.5 раза, а количество стыков колонн в 4 раза [5].

Заключение

1. Анализ существующих технологий показывает, что центробежный способ формования линейных изделий из высокопрочного бетона прост, не требует сложного оборудования, обладает высокой производительностью. На современном этапе развития технологии центрифугирования происходит ее постоянное совершенствование.
2. В Республике Беларусь накоплен достаточно большой опыт изготовления центрифугированных железобетонных элементов кольцевого сечения: труб, опор линий электропередач, осветительных мачт и опор контактной сети, колонн одноэтажных и многоэтажных зданий
3. Белорусским национальным техническим университетом (БПИ) совместно с проектными и производственными организациями России (Оргэнергострой, Теплоэлектропроект, Горьковский Промстройпроект, Волжский комбинат промышленных предприятий) проведен комплекс исследований, проектных и научных работ по внедрению колонн квадратного полого сечения для многоэтажных зданий энергетического строительства. Принципиальным объектом внедрения был принят семиэтажный инженерно-лабораторный корпус (г. Воронеж). Применение центрифугированных колонн квадратного полого сечения вместо колонн сплошного сечения по типовой серии 1.020-1/83 для конкретного объекта позволило снизить расход бетона на колонны на 31 %, сократить количество марок колонн в 2.5 раза, а количество стыков колонн в 4 раза.

Список литературы

1. Ахвердов, И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы / И.Н.Ахвердов-Мн.: Госстройиздат, 1967 – 164 с.
2. Пецольд Т.М. Центрифугированные колонны квадратного сечения / Т.М. Пецольд // Бетон и железобетон. – 1983. - № 6 – С.6-7.
3. Морштейн, О.Б. Уплотнение бетонной смеси в консолях центрифугированных колонн / О.Б.Морштейн, А.Н. Попов // Транспортное строительство. -1978.- №12-С.41-43.
4. Пастушков, Г.П. Многоэтажные здания с гибкой планировочной схемой / Г.П. Пастушков, В.Г. Пастушков, В.А. Белый // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. трудов Междунар. симпозиума, Минск, 16-19 октября 2007г.- Минск:Стринко, 2007 – ч.1- С.280-294.

Поступила в редакцию 24 июля 2014 г.