

УДК 691.4

DOI 10.52928/2070-1683-2023-34-2-68-76

О ВЛИЯНИИ СПОСОБА УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА В ИЗДЕЛИЯХ КОЛЬЦЕВОГО СЕЧЕНИЯ

А.В. УСТИНОВИЧ¹), канд. техн. наук, доц. В.А. ГРЕЧУХИН²)

¹)Завод ЖБИ УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ»,

²)Белорусский национальный технический университет, Минск)

¹)ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2929-1943>,

²)ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2616-7779>

В статье приведены результаты исследований прочностных характеристик бетонных изделий кольцевой формы, изготовленных методами вибропрессования и радиального прессования. Из бетонных безнапорных труб выпиливались фрагменты длиной 1000 мм, которые впоследствии испытывались трёхлинейной нагрузкой. Прочность радиально-прессованного бетона на осевое растяжение находится в пределах 4,55–6,07 МПа, близкие результаты получены при испытаниях образцов-балок, выпиленных из разрушенных фрагментов 4,97–5,57 МПа. При этом значения прочности на осевое растяжение, определённое по результатам испытания контрольных образцов-призм 100×100×400 мм, не превышают 3,63 МПа.

Исследование прочностных характеристик вибропрессованного бетона осуществлялось на образце кольца колодца стенового диаметром 1000 мм. Также были проведены исследования прочности вибропрессованного бетона на осевое растяжение по результатам испытания образцов-балок, выпиленных из фрагментов разрушенного кольца, и прочности бетона образцов-призм 100×100×400 мм. Результаты испытаний показали, что отклонение прочности вибропрессованного бетона на осевое растяжение на 27,6% выше прочности, определённой при испытании контрольных образцов-призм 2,75 МПа.

Ключевые слова: бетонные безнапорные трубы, радиальное прессование, вибропрессование, переходной коэффициент, прочность бетона на осевое растяжение.

Введение. Бетон считается основным строительным материалом, имеющим широкую область применения как в монолитном строительстве, так и в заводском производстве строительных изделий и конструкций. Наличие современных технологий и передового оборудования при выпуске бетонных и железобетонных изделий позволяет наиболее полно использовать технологические и физико-механические свойства бетона.

Бетонные и железобетонные изделия кольцевого сечения (трубы бетонные и железобетонные безнапорные, кольца колодцев канализационные) нашли широкое применение в промышленном и гражданском строительстве. Железобетонные безнапорные трубы применяются при устройстве трубопроводов, транспортирующих хозяйственно-бытовые и производственные жидкости, атмосферные, сточные и подземные воды, укладываются в насыпях автомобильных и железных дорог [1].

Выбор технологии производства изделий и оборудования обуславливается номенклатурой продукции, разнообразием типоразмеров, производительности и т.д. Долгое время основными технологиями производства бетонных и железобетонных безнапорных труб являлись центрифугирование и виброформование, имеющие такие значительные недостатки, как низкая производительность и высокая трудоёмкость, высокая металлоёмкость оснастки и значительные затраты на тепловлажностную обработку. В начале 2000-х годов ситуация в отрасли производства строительных материалов начала изменяться, на предприятиях стройиндустрии внедрялись новые современные технологии производства безнапорных труб.

Так, в настоящий момент на предприятиях Республики Беларусь железобетонные безнапорные трубы производят методом радиального прессования, центрифугированием, вибропрессованием, вибролитьём. Но основными технологиями производства бетонных и железобетонных труб как в мировой практике, так и в Республике Беларусь являются вибропрессование и радиальное прессование.

Из всех перечисленных технологий изготовления бетонных и железобетонных безнапорных труб самой производительной является радиальное прессование. Но в силу того, что оборудование имеет относительно высокую стоимость в Республике Беларусь, есть только два предприятия, которые используют эту технологию. Вибропрессование является менее производительным способом формования, но в то же время номенклатура производимых изделий по типоразмерам является более широкой.

Радиальное прессование – технология производства изделий с поперечным кольцевым сечением, при котором ось изделия в отличие от центрифугирования располагается вертикально. Впервые этим способом трубы были выпущены в США в 40-х годах XX века [2; 3]. В Советском союзе также велись разработки оборудования, уплотняющего бетонную смесь способом радиального прессования. Установки позволяли производить бетонные и железобетонные безнапорные трубы и кольца [4]. Также известно применение радиального прессы при производстве напорных железобетонных труб. В этом случае радиальным прессованием создавался внутренний бетонный слой. Современные установки позволяют выпускать безнапорные трубы диаметрами от 300 мм до 1800 мм и длиной до 3500 мм [5]. Но при формовании бетонных труб больших диаметров (от 900 мм) методом радиального прессования существует вероятность обрушения свежотформованной трубы из-за отсутствия арматурного каркаса и большого веса бетона [6]. Этот недостаток устраняется за счёт оптимизации состава бетонной смеси.

Вибропрессование – современный способ уплотнения бетонной смеси, сочетающий вибровоздействие на бетонную смесь и прессующее усилие, позволяющий выпускать широкую номенклатуру изделий от железобетонных безнапорных труб до колец стеновых канализационных. Современное оборудование позволяет производить железобетонные безнапорные трубы диаметрами от 100 мм до 3500 мм и длиной от 2500 мм [7]. В 1965 году на комбинате железобетонных изделий в г. Рустави (Грузинская ССР) было организовано опытное производство бетонных неармированных безнапорных труб диаметрами 500 мм и 700 мм длиной 1750 мм (с толщиной стенки 80 мм и 90 мм соответственно) и диаметром 1000 мм длиной 1000 мм с толщиной стенки 110 мм [8].

Проведённые исследования [9; 10] показывают, что способ уплотнения бетонной смеси, используемый для формовки бетонных и железобетонных конструкций, наряду с другими факторами оказывает влияние на прочностные характеристики бетона в готовых изделиях. При увеличении степени компрессии увеличивается прочность бетона в конструкции. Некоторые зарубежные исследователи приводят данные, что при определённых условиях реальная прочность бетона после уплотнения в изделии может отличаться от проектной почти в 2 раза в большую сторону [2].

В статье [11] приведены данные, подтверждающие влияние радиального прессования на прочность бетона на осевое растяжение в бетонной конструкции. Так, прочность бетона на осевое растяжение, определённая по стандартным образцам-призмам, изготовленным из рабочего состава бетона, в некоторых случаях была на 35% меньше, чем определённая по результатам испытания натуральных образцов бетонных труб. Одним из объяснений являются различия в способе уплотнения бетона в изделии и образцах-призмах.

Также необходимо отметить, что при изготовлении стандартных образцов в лабораторных условиях из жёстких смесей достаточно сложно обеспечить качественное и равномерное уплотнение бетона, наблюдается чётко выраженное разделение образца на слои. При испытании образцов, отформованных из одной партии бетона, существует большая вероятность получения ряда данных прочности с большой разбегом значений [6; 12]. На это также негативно влияет количество воды затворения, которой при производстве изделий с использованием жёстких бетонных смесей может быть недостаточно для полной гидратации цемента. По результатам проведённых испытаний прочностных характеристик бетона [6; 12] авторы считают необходимым осуществить разработку рекомендаций по формованию стандартных образцов с использованием жёсткой бетонной смеси в лабораторных условиях.

Таким образом, при осуществлении контроля прочностных характеристик бетона в готовых изделиях по результатам испытания стандартных образцов будут получены более низкие результаты, не отражающие действительные значения. В этом случае корректировка рабочего состава бетонной смеси с целью получения бетона соответствующего класса по прочности приведёт к неоправданному удорожанию готового изделия.

При проектировании конструкций наряду с прочностью бетона на сжатие используется и прочность бетона на растяжение¹, которая является основным критерием проектирования в зарубежной практике. При производстве бетонных безнапорных труб стандартом² устанавливаются требования по прочности на осевое растяжение бетона, которая в последующем контролируется в процессе производства на предприятии.

Прочность бетона на растяжение обеспечивается величиной расхода материалов и способом уплотнения бетонной смеси. Необходимое качество и стабильность значений прочностных показателей достигаются при радиальном прессовании, высокочастотном вибрировании с прессованием, центробежным прокатом и др. [13].

Целью данной работы является разработка и апробация методики определения истинного значения прочности бетона на осевое растяжение в конструкциях кольцевого сечения и последующего её контроля в процессе производства.

Для этого необходимо решить следующие задачи.

1. Исследовать прочностные характеристики бетонных изделий с поперечным кольцевым сечением, изготовленных по технологиям радиального прессования и вибропрессования.
2. Сравнить значения, полученные при испытании контрольных образцов, изготовленных в специализированной лаборатории из отобранных при формовании изделий проб бетонной смеси, с прочностными характеристиками бетонных изделий с поперечным кольцевым сечением, изготовленных по технологиям радиального прессования и вибропрессования.
3. Определить переходные коэффициенты к результатам испытания контрольных образцов-балок для контроля прочности бетона на осевое растяжение для изделий, производимых методом радиального прессования и методом вибропрессования.

Технология производства изделий методом радиального прессования. Метод радиального прессования основан на использовании бетонной смеси с жёсткостью ЖЗ-Ж4³, вследствие чего производство изделий осуществляется по технологии моментальной распалубки, так как они имеют высокую начальную конструктивную прочность [14]. Уплотнение бетонной смеси осуществляется в стальной вертикальной форме посредством вращающейся головки с роликами (рисунок 1).

Формование трубы происходит при вертикальном положении оси. Бетонная смесь 9 с жёсткостью 25...40 посредством ленточного конвейера сверху равномерно подаётся в стальную форму 7, в которой расположен арматурный каркас 1 (в случае изготовления железобетонной трубы), установленный на стальном поддоне 8. Уплотнение бетонной смеси 9 в раструбной части осуществляется за счёт вибрации, создаваемой вибростолом, на котором

¹ СП 5.03.01-2020. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2022. – 244 с.

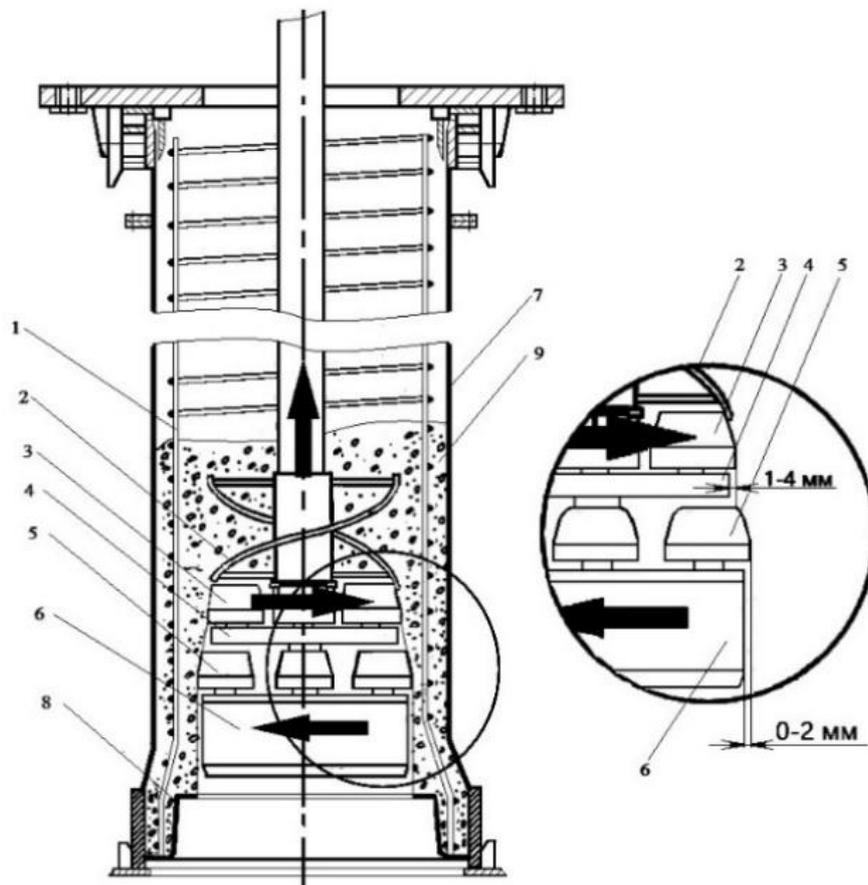
² ГОСТ 20054-2016. Трубы бетонные безнапорные. Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2018. – 22 с.

³ СТБ 1035-96. Смеси бетонные. Технические условия. – Минск: Госстандарт, 1996. – 19 с.

установлена стальная форма 7. Разбрасывающей спиралью 2 производится равномерное распределение бетонной смеси по высоте трубы с последующим предварительным уплотнением раскатывающими роликами 3, закреплёнными на распределительном диске 4. По мере уплотнения бетонной смеси роликовая головка поднимается вертикально вверх, в процессе чего происходит окончательное уплотнение бетонной смеси прессующими роликами 5 с последующим заглаживанием внутренней поверхности трубы заглаживающей головкой 6.

Распределительный диск 4 с раскатывающими роликами 3 и разбрасывающей спиралью 2 вращаются в противоположных направлениях с заглаживающей головкой 6, что позволяет предотвратить скручивание арматурного каркаса 1 и добиться снижения его вибрации в процессе формирования. В противном случае произойдёт разуплотнение бетонной смеси и её расслоение по арматурному каркасу.

Технология производства изделий методом вибропрессования. Вибропрессование как способ формирования бетонных и железобетонных изделий сочетает в себе вибрирующее воздействие на бетонную смесь и прессующее усилие [15]. Сочетание этих двух способов уплотнения позволяет получить бетон с высокими физико-техническими свойствами (прочность, плотность, водонепроницаемость и т.д.).



1 – арматурный каркас; 2 – спираль разбрасывающая; 3 – ролик раскатывающий;
4 – распределительный диск; 5 – ролик прессующий; 6 – заглаживающая головка;
7 – наружная стальная форма; 8 – стальной поддон; 9 – бетонная смесь

Рисунок 1. – Схема формирования трубы методом радиального прессования

При формировании изделий методом вибропрессования, как и в радиальном прессовании, используются бетонные смеси с жёсткостью ЖЗ-Ж4, это позволяет производить немедленную распалубку бетонных и железобетонных конструкций. Технологическое оборудование может по конструкции различаться, но набор операций при формировании изделия и их последовательность остаются неизменными (рисунок 2).

При формировании изделия в установке вибропрессования из накопительного бункера посредством ленточного конвейера жёсткая бетонная смесь подаётся в зону формирования изделия. Распределителем бетонная смесь равномерно укладывается между наружной металлической формой и центральным пуансоном по всему диаметру, что позволяет получить равномерную её укладку. При формировании железобетонного изделия процесс подачи бетонной смеси оператором с пульта управления останавливается для установки арматурного каркаса, при формировании бетонного изделия это делать не требуется. В процессе заполнения зазора бетонной смесью уплотнение осуществляется за счёт работы центрального вибратора, который устанавливается, как правило, на поддон внизу центрального пуансона или внутри него.

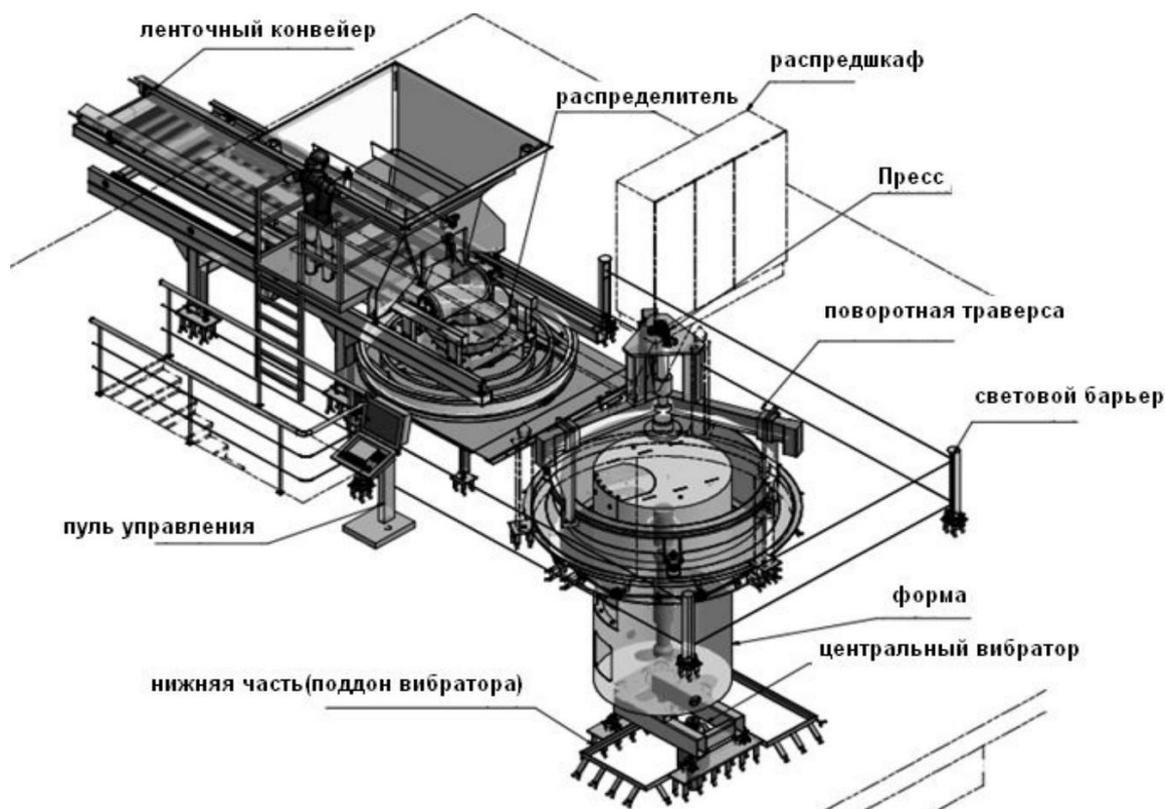


Рисунок 2. – Общая схема установки вибропрессования Atlas немецкой компании PRINZING PFEIFFER

По окончании подачи необходимого количества бетонной смеси на верхнюю торцевую поверхность изделия устанавливается поворотная траверса, которая за счет усилия гидравлического цилиндра осуществляет процесс уплотнения бетонной смеси посредством давления на поверхность, одновременно совершая поступательно-вращательные движения вокруг центральной оси для придания необходимой геометрии верхнему торцу. Форма поверхности нижнего торца создается стальным поддоном. Одновременно с процессом прессования происходит дальнейшее воздействие вибрации на бетонную смесь. Комбинирование двух способов уплотнения позволяет получить бетон в изделии высокой плотности и однородности как по высоте изделия, так и по толщине стенки.

Образцы и методики испытаний. Все образцы кольцевого сечения были отформованы на оборудовании Завода ЖБИ УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ».

В качестве натурального образца кольцевого сечения, отформованного методом вибропрессования, использовалось бетонное кольцо с внутренним диаметром 1000 мм, высотой 890 мм и толщиной стенки 90 мм, изготовленное на оборудовании Atlas производства компании PRINZING PFEIFFER. Для формования натурального образца использовалась бетонная смесь класса по прочности на сжатие C20/25. Для приготовления бетонной смеси использовался песок I класса, отсеяв, фракционированный из материалов горных пород фракцией 2,5–5,0 мм производства ОАО «Гранит» (Республика Беларусь, г. Микашевичи). В качестве вяжущего использовался шлакопортландцемент 400.

После изготовления бетонное кольцо выдерживалось в естественных условиях в помещении производственного цеха. В процессе формования натурального образца была отобрана проба бетонной смеси, из которой были изготовлены образцы-призмы 100×100×400 мм в заводской лаборатории с последующим испытанием в соответствии с требованиями⁴ (рисунок 3). Формование производилось с использованием пригруза массой 50 кг. Выдержка образцов-призм после распалубки осуществлялась в камере нормального твердения при температуре 20±2 °С и влажности 95±5%.

Определение несущей способности бетонного кольца осуществлялось в соответствии с требованиями ТНПА на продукцию⁵. Внешний вид образца кольцевого сечения, установленного на испытательный стенд, представлен на рисунке 4. Исследование бетонного кольца проводилось на аттестованном оборудовании и с использованием поверенного измерительного инструмента. Нагружение образца производилось до полного его разрушения, которое происходило моментально, в результате чего образовались четыре равные части.

⁴ ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Минск: Госстандарт, 2016. – 33 с.

⁵ СТБ 1077-97. Конструкции бетонные и железобетонные для колодцев канализационных, водопроводных и газопроводных сетей. Общие технические условия. – Минск: Госстандарт, 1998. – 13 с.



Рисунок 3. – Испытание образца-призмы
100×100×400 мм



Рисунок 4. – Внешний вид испытательного стенда
и образца кольцевого сечения диаметром 1000 мм,
заформованного методом вибропрессования

Для исследования прочностных характеристик радиально-прессованного бетона были изготовлены бетонные трубы с внутренними диаметрами 300 мм, 400 мм, 500 мм рабочей длиной 2500 мм. Для формирования натуральных образцов использовалась бетонная смесь с жёсткостью Ж4 (рабочие составы приведены в таблице 1).

Таблица 1. – Рабочие дозировки бетонной смеси

Наименование материалов	Расход материалов на 1 м ³		
	БТИ 30.25-3	БТИ 40.25-3	БТИ 50.25-3
Цемент ПЦ500, кг	365	400	400
Песок Мк 2,5–3,0, кг	950	950	950
Щебень фр. 5–10, кг	500	450	450
Отсев фр. 2,5–5,0, кг	500	500	500
Вода, л	125	140	140
Плотность, кг/м ³	2440	2440	2440

В процессе формования был произведён отбор проб бетонной смеси для изготовления образцов-призм 100×100×400 мм для последующего их испытания нагружением. Формование образцов в лаборатории производилось с использованием пригруза массой 50 кг.

Из бетонных труб были отобраны образцы кольцевого сечения длиной 1000 мм для последующего определения несущей способности испытанием трёхлинейной нагрузкой по приведённой в стандарте методике⁶. Исследования проводились на испытательном стенде, разработанном и установленном на Заводе ЖБИ УП «МИНСК-МЕТРОСТРОЙ» (рисунок 5). Показания прилагаемой нагрузки контролировались посредством дисплея электронного динамометра.

Фрагменты труб метровой длины нагружались до полного их хрупкого разрушения. Разломы образовывались вдоль оси фрагмента на четыре части.

Из кусков бетона, образовавшихся при разрушении фрагмента натурального образца трубы, было выпилено для каждого диаметра трубы по 10 образцов-балок длиной 300 мм, шириной 60 мм и высотой равной толщине стенки трубы в месте отбора, предназначенные для определения прочности радиально-прессованного бетона на осевое растяжение в соответствии с требованиями стандартов⁷, как и для образцов-балок вибропрессованного бетона (рисунок 6).

Исходя из условия для изделий из тяжёлого бетона, момент относительно растянутой или наименее сжатой грани сечения от действия постоянных, длительных и кратковременных нагрузок M (момент трещинообразования в лотке/шельге трубы) должен быть меньше либо равен произведению момента сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна с учётом неупругих деформаций растянутого бетона W_{pl} на прочность бетона на осевое растяжение R_t ⁸; получаем, что прочность бетона на осевое растяжение можно найти по формуле [16]:

$$R_t = \frac{M}{\chi W_{pl}}, \quad (1)$$

⁶ СТБ 1163-2012. Трубы бетонные и железобетонные безнапорные. Общие технические условия. – Минск: Госстандарт, 2013. – 20 с.

⁷ См. сноску 4.

⁸ СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: Управление стандартизации и технических норм в строительстве Госстроя СССР, 1984. – 88 с.

где χ – коэффициент, учитывающий неупругие деформации бетона, который равен 1,7.

$$M = 0,318P r_m, \quad (2)$$

где P – вертикальная нагрузка, действующая на единицу длины трубы, Н;
 r_m – радиус средней поверхности трубы, м.

В то же время предельную несущую способность продольного сечения бетонной стенки трубы можно определить по формуле:

$$W_{pl} = \frac{bh^2}{6}, \quad (3)$$

где b – ширина рассматриваемого сечения трубы, м;
 h – толщина стенки трубы, м.

С использованием зависимостей (2) и (3) рассчитывалась прочность радиально-прессованного и вибропрессованного бетона на осевое растяжение в бетонных конструкциях кольцевого сечения.

Переходные коэффициенты рассчитываются как отношение прочности бетона, определённого на образцах, выпиленных из кусков фрагментов труб, образовавшихся после испытания, к прочности бетона, определённой по стандартным образцам, изготовленным из рабочего состава бетона в лаборатории.

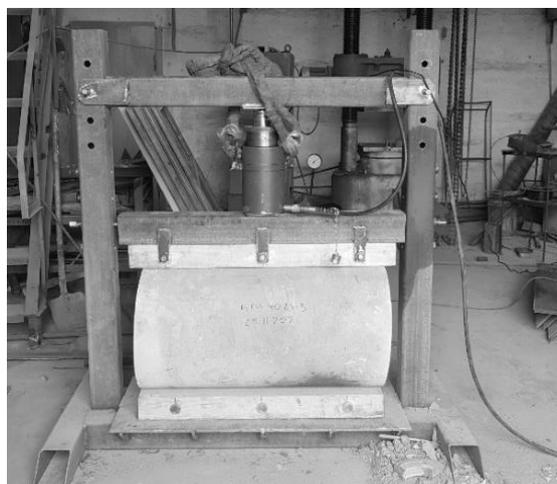


Рисунок 5. – Испытания фрагмента натурального образца трубы диаметром 400 мм, отформованной методом радиального прессования



Рисунок 6. – Испытания образцов-балок, отобранных из трубы диаметром 300 мм, отформованной методом радиального прессования

Результаты исследований и анализ полученных данных. Необходимо учитывать, что на предприятиях сборного железобетона контроль прочности бетона на осевое растяжение осуществляется путем испытания нагружением стандартных образцов-призм, изготовленных из рабочего состава бетона, размеры и методика испытания которых оговорены в стандарте⁹ с последующим умножением полученного результата на 0,55.

Результаты испытаний натурального образца кольцевого сечения диаметром 1000 мм, отформованного методом вибропрессования, и его фактические геометрические размеры:

- разрушающая нагрузка – 35,7 кН или 40,11 кН/м;
- контрольная нагрузка при испытании кольца по показателю прочности – 17,0 кН/м;
- толщина стенки – 80 мм;
- прочность бетона на осевое растяжение – 3,77 МПа.

Результаты исследования прочностных характеристик образцов-призм и натурального образца кольцевого сечения, отформованного методом вибропрессования, приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты исследования прочностных характеристик вибропрессованного бетона

Прочность бетона на осевое растяжение, МПа			Отклонение, %
По образцам-призмам	По образцам-балкам	По результатам испытания кольца	
2,75	3,51	3,65	4,0%

Примечание. Модуль значения отклонения отражает сходимость полученных результатов прочности бетона на осевое растяжение, рассчитанной по результатам испытания образцов-балок и по результатам испытания кольца.

⁹ См. сноску 4.

Прочность бетона на осевое растяжение, рассчитанная по результатам испытания бетонного кольца, изготовленного методом вибропрессования (3,51 МПа), образцов-балок (3,65 МПа) и стандартных образцов-призм (2,75 МПа) (см. таблицу 2) свидетельствуют о значительной разнице 27,6% и 32,7% в величине прочности бетона. Согласно стандарту¹⁰, полученное значение прочности вибропрессованного бетона на осевое растяжение соответствует классу бетона на осевое растяжение В_t 3,2. В то время как для бетона, уплотнённого на лабораторной виброплощадке, этот показатель значительно ниже и соответствует В_t 2,4. Данный результат показывает, что вибропрессование как способ уплотнения бетонной смеси, в сравнении со стандартным способом, применяемым в лаборатории, оказывает большее влияние на прочностные характеристики бетона.

В таблице 3 приведены фактические геометрические размеры, результаты испытания фрагментов натуральных образцов труб, отформованных методом радиального прессования, и контрольные нагрузки.

Таблица 3. – Результаты испытаний фрагментов образцов труб

Номер образца	Внутренний диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Контрольная нагрузка, кН	Разрушающая нагрузка, кН
1	300	61,0	50,2	90,3
2		58,5		102,2
3		63,0		107,1
4	400	65,0	60,5	82,1
5		57,0		77,5
6	500	67,0	71,2	71,6
7		70,0		70,3

Результаты испытания стандартных образцов-призм 100×100×400 мм показали незначительный разброс значений прочности бетона на осевое растяжение и для дальнейшего расчёта принимается среднее значение в серии образцов. В таблице 4 приведены значения прочности бетона на осевое растяжение, определённой по результатам испытаний фрагментов труб, образцов-балок и образцов-призм радиально-прессованного бетона.

Таблица 4. – Результаты исследования прочностных характеристик радиально-прессованного бетона

№ п/п	Внутренний диаметр трубы, мм	Прочность бетона на осевое растяжение, МПа			Отклонение, %	Переходной коэффициент
		По образцам-призмам	По образцам-балкам	По результатам испытания фрагмента		
1	300	3,11	5,08	4,88	4,2	1,63
2		3,13	5,57	5,96	6,5	1,78
3		3,17	5,15	5,45	5,5	1,62
4	400	3,46	5,50	5,03	9,4	1,59
5		3,63	5,50	6,07	9,3	1,52
6	500	3,40	5,26	5,04	4,5	1,55
7		3,54	4,97	4,55	9,2	1,40

Примечание. Модуль значения отклонения отражает сходимости полученных результатов прочности бетона на осевое растяжение, рассчитанной по результатам испытания образцов-балок и по результатам испытания фрагментов труб.

Значения прочности радиально-прессованного бетона на осевое растяжение, рассчитанные по формулам (2) и (3) с использованием результатов испытаний фрагментов труб длиной 1000 мм диаметрами 300 мм, 400 мм и 500 мм, находятся в пределах от 4,55 МПа до 6,07 МПа (см. таблицу 4). Полученные значения прочности бетона на осевое растяжение по результатам испытания образцов-балок находятся в пределах от 4,97 МПа до 5,57 МПа и имеют отклонения от значений испытаний соответствующих фрагментов труб от 4,2% до 9,3%. В то же время полученные результаты испытаний контрольных образцов-призм 100×100×400 мм имеют более низкие значения прочности бетона на осевое растяжение – 3,11...3,63 МПа.

Расхождение результатов прочности радиально-прессованного бетона, вибропрессованного бетона и бетона контрольных образцов-призм можно объяснить различиями способов уплотнения бетонной смеси. Контрольные образцы были заформованы в заводской лаборатории на лабораторной виброплощадке с использованием пригруза весом 0,5 кН. Это привело к различному качеству уплотнения бетонной смеси в натуральных образцах кольцевого сечения и образцах-призмах, что наглядно демонстрируют результаты исследования.

Результаты испытаний стандартных образцов-призм 100×100×400 мм показали, что при использовании дозирок бетонной смеси, приведённых в таблице 1, для формирования бетонных труб требуемый показатель прочности бетона на растяжение не достигается. Следовательно, для обеспечения прочностных характеристик бетона необходимо провести пересмотр дозирок в сторону повышения класса бетона по прочности на осевое растяжение, что увеличит стоимость готового продукта.

¹⁰ СТБ 2221-2020. Бетоны конструкционные тяжёлые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия. – Минск: Госстандарт, 2021. – 28 с.

В ходе проведённого исследования установлено, что величина переходного коэффициента находится в пределах 1,40...1,78 для бетонных изделий с поперечным кольцевым сечением, производимых методом радиального прессования, а для изделий, формируемых методом вибропрессования, этот показатель составляет не менее 1,25.

Заключение. В результате испытаний установлено, что вибропрессование и радиальное прессование оказывают большее влияние на прочностные характеристики бетона в бетонных конструкциях в сравнении со стандартным методом формования и испытания контрольных образцов-балок. Данные, полученные при их испытании, не показывают действительное значение прочности бетона. Таким образом, при производстве продукции с использованием исследованных технологий необходимо применять переходные коэффициенты.

Предлагается на предприятиях при подборе рабочих составов бетонных смесей использовать переходной повышающий коэффициент:

– 1,4 к результатам испытания контрольных образцов-балок для контроля прочности бетона на осевое растяжение для изделий, производимых методом радиального прессования;

– 1,25 к результатам испытания контрольных образцов-балок для контроля прочности бетона на осевое растяжение для изделий, производимых методом вибропрессования.

Дальнейшее уточнение переходных коэффициентов осуществлять по результатам испытания натуральных образцов бетонных изделий с поперечным кольцевым сечением и образцов-балок, отобранных из разрушенных фрагментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А.Н. Бетонные и железобетонные трубы. – М.: Стройиздат, 1973. – 269 с.
2. Производство бетонных и железобетонных труб способом радиального прессования / В.И. Мелихов, А.Г. Грайфер, С.К. Казарин и др. – М.: ВНИИЭСМ, 1981. – 61 с.
3. Железобетонные трубы / Т.П. Сенкевич, С.З. Рагольский, В.Н. Померанец. – М.: Стройиздат, 1989. – 272 с.
4. Понаморёв В.П., Казарин С.К. Технологические линии и оборудование по производству безнапорных труб и колец методом радиального прессования // Бетон и железобетон. – 1977. – № 10. – С. 31–34.
5. Rohrleitungen 1. Grundlagen, Rorwerkstoffe, Komponenten / Hrsg.: H.-B. Horlacher, U. Helbig. – Dresden: Springer Vieweg, 2016. – 545 s.
6. Mikhaylova A. Non-liner finite element-based material constitutive law for zero slump steel fiber reinforced concrete pipe structures. – Arlington: The University of Texas at Arlington, 2013. – 439 p.
7. Широков В.С. Развитие и совершенствование производства железобетонных труб // Бетон и железобетон. – 2005. – № 5. – С. 9–11.
8. Ломидзе Ш.А., Джапаридзе З.С., Квицаридзе О.И. Производство бетонных неармированных безнапорных труб средних и больших диаметров // Бетон и железобетон. – 1969. – № 5. – С. 16–19.
9. Костюк Н.Г., Качура А.А. Влияние вида армирования и способа формования на прочность бетона в трубах // Коммунальное хозяйство городов. Сер. Техн. науки и архитектура. – 2004. – № 58. – С. 259–261.
10. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. – М.: Стройиздат, 1967. – 163 с.
11. Шепелевич Н.И., Устинович А.В. О прочности и водонепроницаемости бетонных труб, изготовленных методом радиального прессования // Автомобильные дороги и мосты. – 2022. – № 2. – С. 59–66.
12. Mohsen A. Evaluation of the performance of still fiber reinforced concrete pipes produced by packerhead method. – Arlington: University of Texas at Arlington, 2014. – 108 p.
13. Тевелёв Ю.А. Железобетонные трубы. Проектирование и изготовление: учеб. пособие. – М.: АСВ, 2004. – 328 с.
14. Производство бетонных труб радиальным прессованием / А.И. Дмитриев, А.Г. Грайфер, С.К. Казарин и др. // Бетон и железобетон. – 1979. – № 12. – С. 17–18.
15. Батяновский Э.И. Технология бетонных и железобетонных изделий: учеб. пособие. – Минск: Выш. шк., 2017. – 305 с.
16. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс: учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.

REFERENCES

1. Popov, A.N. (1973). *Betonnye i zhelezobetonnyye truby*. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).
2. Melikhov, V.I., Graifer, A.G., Kazarin, S.K., Lukoyanov, A.S. & Ponomarev, V.P. (1981). *Proizvodstvo betonnykh i zhelezobetonnykh trub sposobom radial'nogo pressovaniya*. Moscow: VNIIESM. (In Russ.).
3. Senkevich, T.P., Ragol'skii, S.Z. & Pomeranets, V.N. (1989). *Zhelezobetonnyye truby*. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).
4. Ponomarev, V.P. & Kazarin, S.K. (1977). Tekhnologicheskie linii i oborudovanie po proizvodstvu beznapornykh trub i kolets metodom radial'nogo pressovaniya. *Beton i zhelezobeton*, (10), 31–34. (In Russ.).
5. Horlacher, H.-B. (Eds.) & Helbig, U. (Eds.) (2016). *Rohrleitungen 1. Grundlagen, Rorwerkstoffe, Komponenten*. Dresden: Springer Vieweg. (In German).
6. Mikhaylova, A. (2013). *Non-liner finite element-based material constitutive law for zero slump steel fiber reinforced concrete pipe structures*. Arlington: The University of Texas at Arlington.
7. Shirokov, V.S. (2005). Razvitie i sovershenstvovanie proizvodstva zhelezobetonnykh trub. *Beton i zhelezobeton*, (5), 9–11. (In Russ.).
8. Lomidze, Sh.A., Dzhaparidze, Z.S. & Kvitsaridze, O.I. (1969). Proizvodstvo betonnykh nearmirovannykh beznapornykh trub srednikh i bol'shikh diametrov. *Beton i zhelezobeton*, (5), 16–19. (In Russ.).
9. Kostyuk, N.G. & Kachura, A.A. (2004). Vliyanie vida armirovaniya i sposoba formovaniya na prochnost' betona v trubakh. *Kommunal'noe khozyaistvo gorodov. Ser. Tekhn. nauki i arkhitektura*, (58), 259–261. (In Russ.).
10. Akhverdov, I.N. (1967). *Zhelezobetonnyye napornyye tseftrifugirovannyye truby*. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).

11. Shepelevich, N.I. & Ustinovich, A.V. (2022). O prochnosti i vodonepronitsaemosti betonnykh trub, izgotovlennykh metodom radial'nogo pressovaniya. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*, (2), 59–66. (In Russ.).
12. Mohsen, A. (2014). Evaluation of the performance of still fiber reinforced concrete pipes produced by packerhead method. Arlington: University of Texas at Arlington.
13. Tevelev, Yu.A. (2004). *Zhelezobetonnye truby. Proektirovanie i izgotovlenie: ucheb. posobie*. Moscow: ASV.
14. Dmitriev, A.I., Graifer, A.G., Kazarin, S.K. & Shirokov, V.S. (1979). Proizvodstvo betonnykh trub radial'nym pressovaniem. *Beton i zhelezobeton*, (12), 17–18. (In Russ.).
15. Batyanovskii, E.I. (2017). *Tekhnologiya betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii: ucheb. posobie*. Minsk: Vyssh. shk. (In Russ.).
16. Baikov, V.N. & Sigalov, E.E. (1991). *Zhelezobetonnye konstruksii. Obshchii kurs: ucheb. dlya vuzov*. Moscow: Stroizdat. (In Russ.).

Поступила 23.02.2023

ON THE INFLUENCE OF THE METHOD OF COMPACTION OF THE CONCRETE ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONCRETE IN PRODUCTS OF ANNULAR SECTION

A. USTSINOVICH¹, V. GRECHUHIN²

¹*Precast concrete factory of MINSKMETROSTROY UE,*

²*Belarusian National Technical University, Minsk)*

The article presents the results of studies of the strength characteristics of ring-shaped concrete products made by vibropressing and radial pressing methods. Fragments with a length of 1000 mm were cut out of concrete pressure-free pipes, which were subsequently tested with a three-line load. The axial tensile strength of radially pressed concrete is in the range of 4,55–6,07 MPa, similar results were obtained when testing samples-beams sawn from destroyed fragments of 4,97–5,57 MPa. At the same time, the values of axial tensile strength determined by the test results of control samples-prisms 100×100×400 mm according do not exceed 3,63 MPa.

The study of the strength characteristics of vibropressed concrete was carried out on the ring of a wall well with a diameter of 1000 mm. Also, studies of the strength of vibro-pressed concrete for axial tension were carried out based on the results of testing samples-beams made from fragments of the destroyed ring and the strength of concrete samples-prisms 100×100×400 mm. The test results showed that the deviation of the strength of vibrocompressed concrete in axial tension is not less than 27,6% higher than the strength determined when testing control samples-prisms of 2,75 MPa.

Keywords: *concrete non-pressure pipes, radial pressing, vibrocompressed, transition factor, axial tensile strength of concrete.*