

УДК 691.327.3

ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ В БЕТОННЫХ БЛОКАХ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ.

Жанатай Ербулан Токенұлы

zhanataev17@mail.ru

магистрант ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Сабитов Е.Е.

Введение

Дефицит сырья и необходимость разработки экологически чистых материалов привели к тому, что строительный сектор стал ориентироваться на использование материалов из сельскохозяйственных ресурсов, в связи с их возобновляемостью. Огромное количество отходов, образующихся в ходе деревообрабатывающих операций во многих странах, создает сложные возможности для использования древесных отходов в качестве

Дефицит сырья и необходимость разработки экологически чистых материалов привели к тому, что строительный сектор переориентировался на использование материалов из сельскохозяйственных ресурсов в связи с их возобновляемостью. Огромное количество отходов, образующихся во время переработки древесины в различных странах обеспечивает благоприятные возможности для использования древесных отходов в производстве строительных изделий.

В самых последних исследованиях древесные отходы добавлялись в качестве добавки в бетонную смесь или в качестве замены обычного портландцемента в бетон. Но замещение песка в бетоне также важно изучить из-за недостаточного количества сырья. Замена песка древесными отходами дает преимущества в плане снижения веса материала и снижает выбросы углекислого газа в области строительства. По этой причине данная тема актуальна. В рамках исследовательского проекта «ARCIRWood» в регионе Франции были заинтересованы в переработанной древесине, в инновационном производстве строительных материалов. Исследуемым типом древесины были тополиные опилки, т.к. имелось массовое производство этого вида в регионе [CRPF 2006].

В ходе первоначального исследования мы проверили целесообразность использования переработанных продуктов из тополя в обычном растворе [Xing 2013]. Были испытаны различные пропорции замещения песка в растворе частицами тополиной древесины, поскольку их гранулированные классы относительно близки. Это исследование показало значительное влияние на реологические и теплофизические свойства воды. Обрабатываемость раствора повышалась с увеличением коэффициента замещения песка древесными частицами до оптимального значения в 30 %. Однако проблема ингибирования реакции гидратации проявилась в замедлении и уменьшении тепловыделения, что привело к значительному снижению прочности на сжатие этих растворов. После этих результатов наш выбор применения был ориентирован на полусухие бетонные блоки. Этот материал не требует высокой прочности и обычно встречается в строительной промышленности. Исследуя данную тему, мы ознакомились с тем, что партнер проекта, тоже компания из региона во Франции, производит бетонные блоки методом вибропрессования.

Высокочастотная вибрация соединяется с уплотнением для получения полусухих бетонных блоков. Конечный продукт имеет более высокую плотность, лучшее сопротивление и более низкую проницаемость, чем у обычного изготовленного бетона [Nguyen 2010]. Концепция производства основана на сочетании очень низкого водоцементного соотношения и высокого уплотнения [Ling 2012]. Предполагалось, что введение древесных переработанных продуктов в бетонные блоки путем замены некоторых заполнителей позволит облегчить блоки и улучшить их тепло-и акустические свойства.

В качестве ориентира для нашего исследования была взята конкретная вышеупомянутая формула промышленного примера. Требования, которые предъявляются к разработанному новому продукту таковы: прочность на сжатие 6 МПа через 7 дней. Испытания на сжатие также проводились через 14 и 28 дней. Они показали очень низкое повышение сопротивления (менее 1 МПа), потому что продукт сухой; в данных блоках есть высокая пористость. Полученные результаты были использованы для производства бетонных блоков с древесными переработанными продуктами методом вибропрессования. В данном исследовании предлагается способ получения нового бетонного материала путем замены части песка тополиными опилками, которые могут быть использованы в качестве строительного материала в изделиях, требующих низкой прочности. В частности, целью исследования является понимание влияния включения опилок тополя на свойства полусухих бетонных блоков. Также анализируется роль изготовления бетона методом вибропресса. Исследование включает в себя характеристику тополиных опилок, влияние доли замещения песка в смеси опилками на теплофизическое и механическое поведение полусухого бетона, а также определение оптимального времени и необходимой силы вибропрессования, которые приводят к максимальной прочности композиционного бетона на сжатие. Испытания исследования проводились в соответствии с соответствующими международными стандартами.

2. Характеристика тополиных опилок

Тополиные опилки (рис.1А) - это образцы, предоставленные компанией из Франции. Эти опилки являются переработкой распиловки. Микроскопическое наблюдение показало неправильную и шероховатую форму с растительными волокнами, имеющими преимущественное направление (рис. 1Б). Эта специфическая морфология может влиять на адгезию между частицами тополя и связующим веществом. Анализ размера частиц проводился в соответствии с требованиями (рис. 1С). 94 % опилок имеет размер менее 2 мм. Для характеристики тополиных опилок использован метод определения плотности и коэффициента водопоглощения легких заполнителей (табл.1). Эти измерения проводились на объемных образцах без уплотнения. Коэффициент поглощения был 174 %, что связано с высокой пористостью опилок. Эта характеристика должна быть учтена при составлении бетона и его смешивании (Рис.1). Кинетика поглощения показала время насыщения 2 мин. Поэтому необходимо соблюдать время смачивания тополиных опилок [Xing 2013].

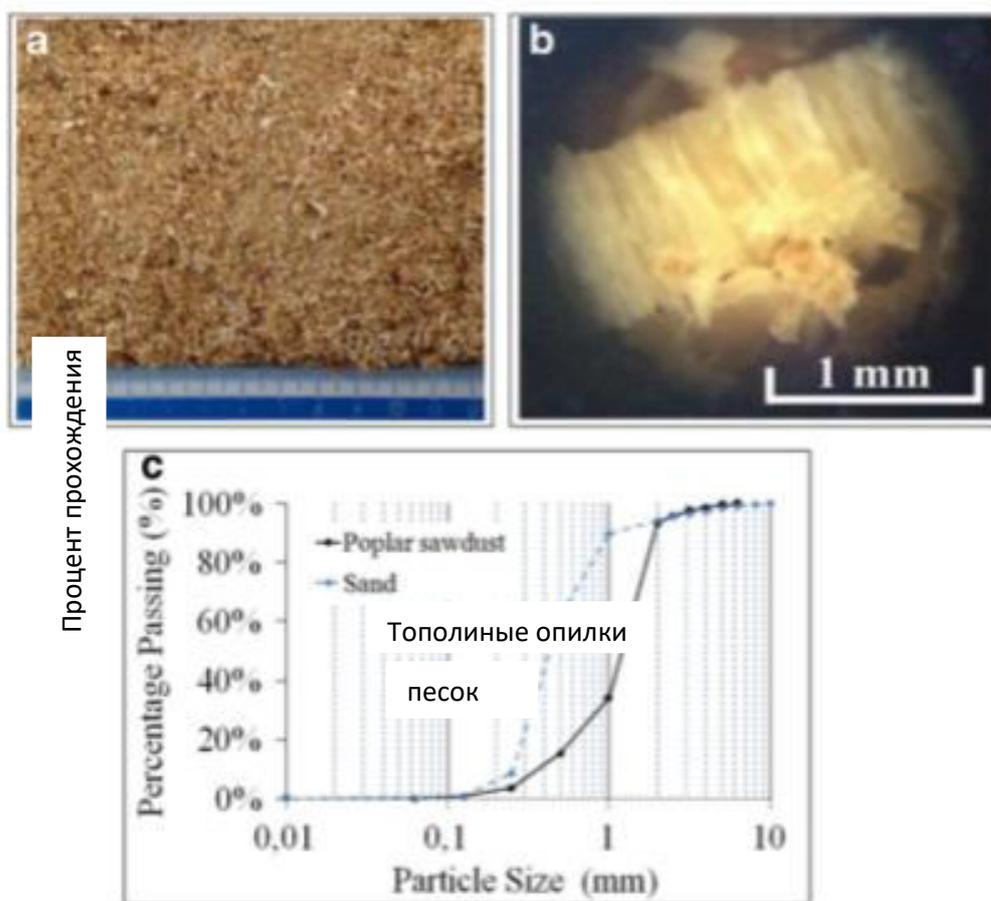


Рис. 1.- используемые тополиные опилки: невооруженным глазом; b - под микроскопом (увеличение в 100 раз); c - график по размерам.

3. Древесно-Бетонная Композиция

Исследование основано на замене песка тополиными опилками в эталонной формуле бетона, поскольку класс зернистости песка близок к классу опилок. Оптимальная замена 30 % найдена в предварительном исследовании на растворах, и по этой причине наш первый коэффициент замены для тополиных опилок бетона составил 30% [Xing 2013]. Для оптимизации состава бетона были также изучены три других коэффициента объемного замещения: 40 %, 50% и 60%. Составы приведены в таблице 2. Химический состав используемого цемента был представлен в таблице 3. Песок представлял собой кремнистый морской песок с коэффициентом водопоглощения 0,49 %. Были выделены два гранулированных класса измельченного известкового заполнителя 2/4 мм и 4/6 мм. Протокол смешивания для бетона PSC показан на рисунке 2. В свежем состоянии бетон был сухим, очень твердым и слабо сцепленным из-за небольшого объема теста (16 %) в их составе.

Таблица 1. плотность и коэффициент водопоглощения тополиных опилок

	Тополиные опилки
Кажущаяся плотность (кг.м ⁻³)	178
Насыщенная и поверхностно-высушенная плотность (кг.м ⁻³)	390
Водопоглощение (%)	174

4. Древесно-бетонная зрелость

Гидратацию бетона исследовали при поддержании изотермического калориметра при температуре 20°C (Рис.3). Исследуемый образец представляет собой квадратное тело размером 15×15 см² и толщиной 6 см. Диапазон частот - 5 мин. Основной интерес изотермической калориметрии связан с поддержанием температуры реакции, что является фундаментальным достижением для изучения термоактивных химических процессов через измерения теплового потока для анализа зрелости. Калориметрическое устройство состоит в основном из четырех частей, которые представляют собой держатель образца, систему терморегулирования, измерительные датчики и цепочку сбора данных. Две пластины соединены с термостатической ванной двумя насосами, которые обеспечивают достаточный расход для обеспечения циркуляции теплоносителя термостатической ванны, поддержания постоянной температуры и поддержания изотермического состояния реакции. Датчики расхода нанесены на поверхность обменных пластин. Термопары Т-типа (медь / Константа) были помещены по бокам и в центре образца для измерения температуры.

Таблица 2. Состав бетона из тополиных опилок (данные на 1 м³)

[кг/м ³]	PSC0	PSC30	PSC40	PSC50	PSC60
Цемент СЕМ I 52,5	177	177	177	177	177
0/4 песок	591	413	354	295	236
2/4 извести	517	517	517	517	517
4/6 извести	1107	1107	1107	1107	1107
Эффективная вода	105	105	105	105	105
Тополиные опилки	0	26	35	44	53
[%/объем песка]	0%	30%	40%	50%	60%
Плотность	2497	2345	2295	2245	2195
В/Ц	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59

Таблица 3. Химический состав цемента СЕМ I 52,5

ООки си	SSiO ₂	AAI ₂ O ₃	FFe ₂ O ₃	CCaO	MM gO	SSO ₃	KK ₂ O	NNa ₂ O	CC ₃ S	C C ₂ S	C ₃ A	C C ₄ AF
%% 4	220.	5.0	3.2	663.8	00.9	33.1	00.79	00.24	558	115	88	111

Эволюция теплового потока бетона PSC с различным соотношением замещений в зависимости от времени есть, наблюдалось снижение максимального теплового потока различных бетонных смесей и замедление кинетики реакции гидратации. На образовавшиеся гидраты повлияло присутствие в композите частиц тополиных опилок. Между PSC0 и PSC60 наблюдалась задержка и прогрессирующее уменьшение пика реакции, что означает постепенное увеличение механической прочности бетонов PSC. Количественное тепловыделение бетона было получено путем интегрирования потока. Отметим, что теплота гидратации бетона PSC уменьшается с увеличением количества замещенных опилок за 3-дневное время, что свидетельствует об уменьшении количества образующихся гидратов, на которые влияет количество используемых опилок. Эти наблюдения могут объяснить разницу между механическими прочностями PSC. Степень гидратации PSC можно рассчитать по соотношению измеренной теплоты и теплоты конечной гидратации. Предельная теплота гидратации была рассчитана по тепловыделению четырех основных минералогических компонентов, таких как C₃S, C₂S, C₃A и C₄AF. Тепловыделение расчетной конечной гидратации составило для цемента 474,06 Дж/г. Влияние добавления частицы опилок на степень гидратации наблюдается, в течение 3-дневного времени записи степень гидратации PSC замедляется, чтобы следовать соотношению замещения песка тополиными опилками. Наблюдения изотермических калориметрических измерений в бетоне показывают роль

включения тополиных опилок в бетон. Такое использование опилок может уменьшить расход и количество выделяемого тепла, а также замедлить степень гидратации цементируемого материала. Это свойство, очевидно, влияет на тополиные опилки в бетоне, изготовленные методом вибропрессования.

5. Разработка древесно-бетонных блоков методом вибропрессования.

Для изготовления образцов был использован уплотнитель с одним цилиндром для вибропрессования (пневматический вибратор) (Рис. 5). Цилиндр имеет размер 100 мм в диаметре и 200 мм в высоту. Древесный бетон вводится в цилиндры с двумя одинаковыми слоями по 1,7 кг каждый. Длительность вибрации каждого слоя составляла 15 с (определялась по серии калибровочных испытаний). Затем к образцу прикладывается требуемая сила уплотнения. Вибропресс осуществляется с помощью вибрации в горизонтальной плоскости и вертикальной возрастающей осевой силы, приложенной с помощью поршня ко всему сечению образца. Максимальное давление 6 баров может быть произведено пневматическим домкратом, работающим со сжатым воздухом. Желаемое давление уплотнения достигается через 2 или 3 с. вибрация имеет частоту 250 Гц и амплитуду 2 мм., совместное действие уплотнения и вибрации побуждает гранулированное расположение бетона, которое очень быстро приводит к хорошей компактности.

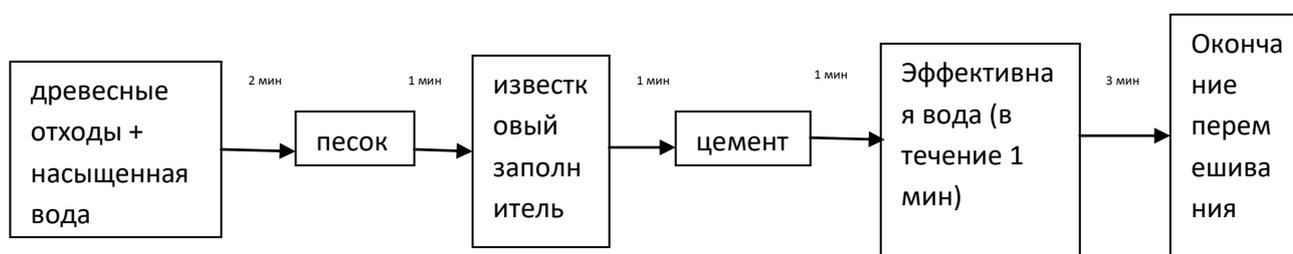


Рис. 2 протокол подготовки бетона из тополиных опилок



Рис.3- прибор изотермической калориметрии

5.1 выбор времени вибрации и силы уплотнения

Время вибрации и используемая сила прессования являются основными параметрами, которые будут влиять на бетон, изготовленного методом вибропрессования, и его механические свойства. Оптимальное время вибрации было определено серией испытаний на плотность для 3 бетонных смесей (PSC0, PSC30 и PSC60). Плотность рассчитывалась путем взятия отношения вибрируемого объема бетона к исходному объему для одного слоя древесного бетона (1,7 кг) в разное время вибрации. Результаты представлены на рис. 6.

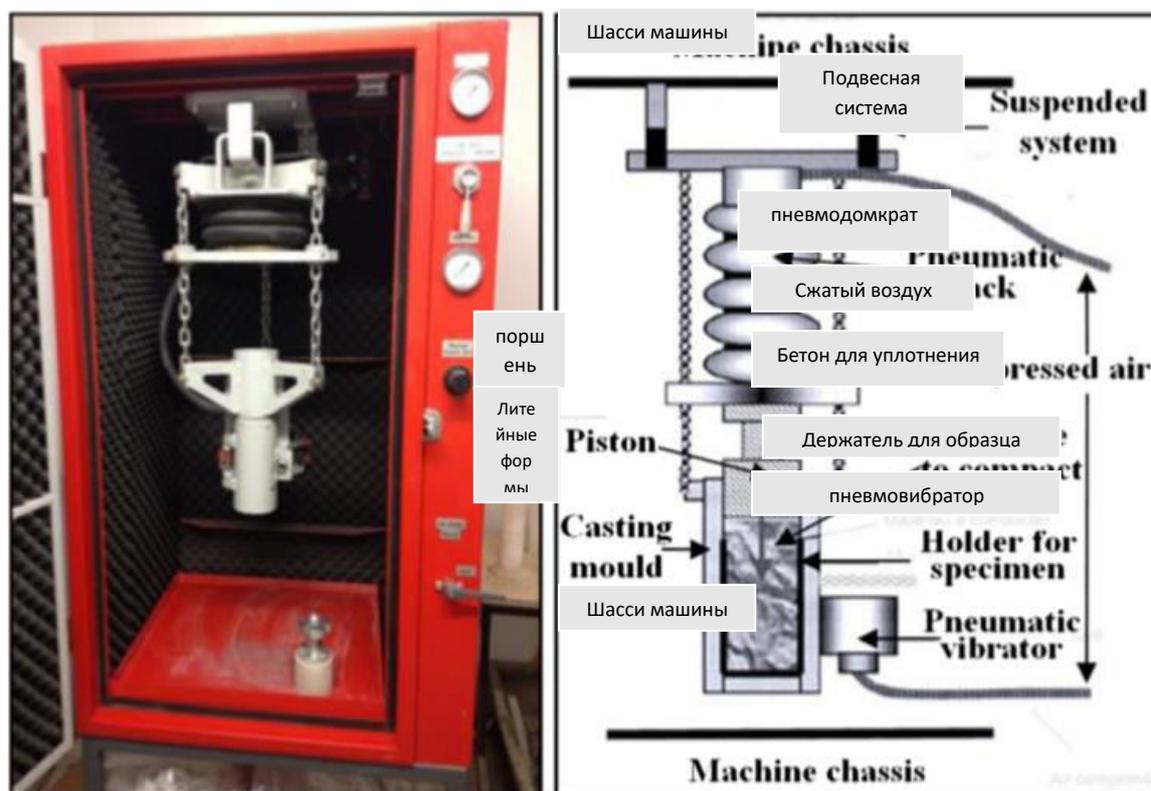


Рис.5 - схема внутренней части виброуплотнительной камеры

Мы можем наблюдать на рис. 6, вибрация в 15 секунд дает оптимальную плотность для 3 древесно-бетонных смесей. Это оптимальное время вибрации является общим для бетонных смесей PSC. Величина напряжения уплотнения для изготовления древесного бетона определялась по измерениям механической прочности в течение 7 суток на трех образцах Ø10x20 см. Испытания на сжатие также проводились в течение 28 дней и показали очень низкое развитие сопротивления (менее 1 МПа для образца, изготовленного без уплотнения, и менее 2 МПа для образца, изготовленного с уплотнением), т.к. пористость образца была высокой. Образцы были извлечены из формы и помещены в герметичные полиэтиленовые пакеты на 24 часа после отливки до желаемого испытания. Результаты представлены на рис. 7.

Изготовление образцов методом вибропрессования повышает механическую прочность смеси. Механическая прочность бетонных смесей PSC 0, PSC 30 и PSC60 повышена до оптимального для уплотнения напряжения 40 кПа (1,8 кН). Без данного напряжения механическая прочность уменьшилась. Поскольку устройство быстро достигает требуемого напряжения уплотнения, это снижение можно объяснить для PSC0, PSC30 и PSC60 скоростью введения высокой нагрузки, которая блокирует гранулированное расположение в бетоне при вибрации. Уменьшение массы блоков является важным параметром для разработки древесно-бетонных ПСК. Массу образцов измеряли в свежем состоянии. Развитие плотности массы в зависимости от напряжения уплотнения приведена на рис. 8.

Уплотнение увеличивает плотность испытываемых образцов. При каждом напряжении уплотнения замена песка тополиными опилками делает бетон более легким. Мы можем наблюдать уменьшение массы при увеличении напряжения после 40 кПа, что согласуется с уменьшением прочности бетона PSC на сжатие через 7 дней после уплотнения. Эти образцы - наш эталонный тест. Механическая прочность достигает 7 МПа через 7 дней без применения уплотнения. Он может утроиться при использовании процесса вибропрессования с усилием 40 кПа. Это приводит почти к тому, что [Линг 2012] В своих исследованиях отмечал: увеличение прочности на сжатие бетонного блока, изготовленного

методом вибропрессования в 2,5 раза по сравнению с традиционным производством. Применение инкорпорации значительно снижает ее механические характеристики (уменьшение на 50 % при замене 30% песка опилками; рис. 7). Применение силы уплотнения позволяет повысить механическую прочность бетонных образцов.

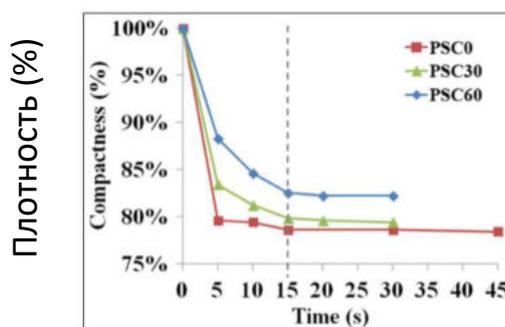


Рис. 6 эволюция плотности PSC в зависимости от времени вибрации

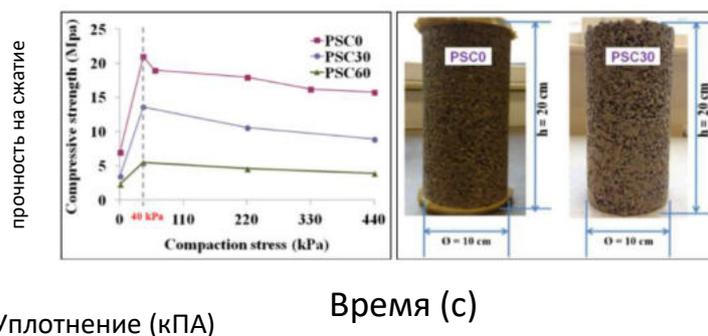


Рис.7 - эволюция прочности на сжатие в зависимости от уплотнения (слева) и образцы PSC0 и PSC 30 через 7 суток (справа).

5.2 Оптимизация состава бетона.

Для оптимизации рецептуры тополиного древесного бетона были изучены коэффициенты замещения 30, 40, 50 и 60%. Эволюция предела прочности при сжатии через 7 суток дана в зависимости от степени уплотнения (Рис.9).

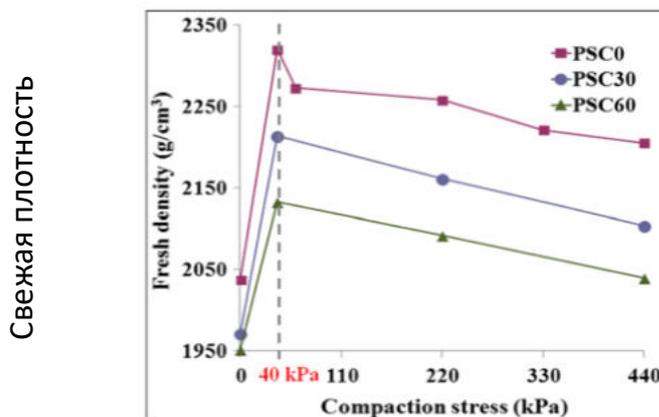


Рис.8 эволюция плотности свежей бетонной массы PSC0, PSC 30 и PSC60 в зависимости от различных напряжений уплотнения.

Уплотнение (кПа)

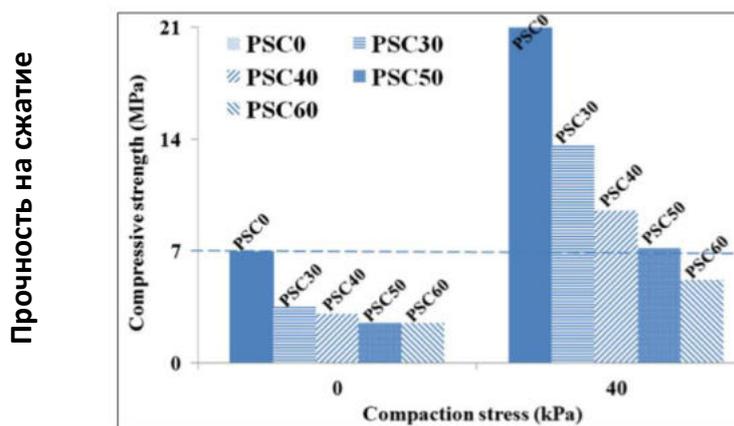


Рис.9 Эволюция прочности на сжатие бетона на 7 сутки в зависимости от различных напряжений уплотнения.

Включение опилок тополя в (**Уплотнение (кПа)**) иет на его механические характеристики. Прочность на сжатие снижается в зависимости от степени замещения в бетоне за счет ингибирования: влияния древесины на реакцию гидратации цементного композита, полученного методом изотермической калориметрии. Снижение прочности достигает 50 % для PSC-30, 56 % для PSC-40 и 64% для PSC-50 без прессования при изготовлении этих образцов. Сила PSC-60 составляет почти 1/3 от силы PSC 0 в течение 7 дней. Для всех видов бетона изготовление бетонных смесей методом вибропрессования повышает их прочность при сжатии. Сравнение механических прочностей блоков с тополевыми опилками и без них показывает, что наличие прессования значительно повышает прочность блоков на сжатие на 7-й день. Мы считаем, что скорость увеличения сжимающей силы может быть замедлена в соответствии с коэффициентом замещения опилок. Вибропрессование снижает ингибирующее действие древесины на реакцию гидратации цементного композита и приводит к улучшению пределов механических характеристик. Предложенный заменитель 50 % песка тополиными опилками в бетоне может быть предложен с учетом его механических свойств для реализации древесного бетона в промышленных масштабах методом вибропресса.

6. Заключение

Исследование включения тополиных опилок в бетон, изготовленный методом вибропрессования, показало, что можно разработать древесно-бетонные блоки с механической прочностью более 6 МПа и снизить массу. Ингибирование схватывания бетона тополиными опилками характеризуется испытаниями на зрелость, влияющими на его механическую прочность. Эта сила значительно уменьшается с увеличением доли тополиных опилок. Снижение прочности достигает 50% для бетона с 30% - ной заменой песка опилками и 65% - ной с 60% - ной заменой.

Способ изготовления бетона методом вибропрессования повышает его механическую прочность. В данном исследовании были оптимизированы значения вибропрессования и длительности колебаний при 40 кПа при 15 секундах соответственно. В случае изготовления блока с 0%-ным добавлением тополиных опилок, вибропрессование, выполненное при 40 кПа, приводит к увеличению прочности в 3 раза по сравнению с не-уплотненным бетоном, а с другой - к увеличению прочности бетона. Почти 100 % - ное увеличение механической прочности наблюдается для бетона с заменой тополиными опилками на 30% и 40% , что может, в случае нашего бетона, уменьшить влияние ингибирования древесины на реакцию гидратации. Предложение о замене 50% песка тополиными опилками в бетонном блоке сохраняется. Действительно, эта бетонная композиция дает аналогичную механическую прочность эталонному бетону для изготовления кладочных бетонных блоков.

Список использованных источников

1. Чеах Ц., Ramli M (2011) внедрение золы древесных отходов в качестве частичного заменителя цемента в производстве конструкционных марок бетона и строительных растворов: обзор. *Resour Conservative Recycl* 55: с. 669-685
2. Линг (2012) Влияние способа уплотнения и содержания каучука на свойства бетонных тротуарных блоков. *Constr Build Mater* 28: с. 164-175
3. Трай М.С., Триболот П. (2012). Древесины -структура и характеристики. *Tech de l'Ingénieur C925*, с. 1-26.
4. Композитный Бетон, Геоматериальная Ось. IUT Bethune-университет Артуа, Франция
5. Ксинг З. (2013) Влияние тополя на раствор, продвижение проекта ARCIR CLUSTER Bois.
6. Удойе Ф., Янинг Х., Янг Д. , Опараду Е. (2006), потенциал золы древесных отходов в качестве добавки в бетон. *Mater Civ Eng* 18: с. 605-