

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_59cd0c57ede8c1.83340178

Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф.,
Елистраткин М.Ю., канд. техн. наук, доц.,
Глаголев Е.С., канд. техн. наук, доц.,
Шаталова С.В., магистр,
Стариков М.С., магистр

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЕЧАТИ*

mr.elistratkin@yandex.ru

Строительная 3D печать привлекает внимание широкой общественности своей новизной, футуристичностью создаваемых форм, резким контрастом с бытовым представлением о стройплощадке. Специалисты видят в ней большие возможности экономии всех видов ресурсов, сокращение сроков строительства, возможность воплощения передовых конструкторских разработок, но при этом и такие серьезные проблемы как: не сформированность общей концепции развития аддитивных технологий, ограниченная номенклатура и высокая стоимость расходных материалов, отсутствие методик разработки составов и опыта их применения. В статье проанализированы взаимосвязи технологических факторов со свойствами формовочных составов, предложены принципы их практической реализации.

Ключевые слова: строительная 3D печать, аддитивные технологии, требования к составам, реологические показатели, управление схватыванием.

Введение. На сегодняшний день во всех сферах нашей жизни идет перманентный поиск новых, более современных методов и технологий, отвечающих принципам устойчивого развития. Новые подходы должны быть с одной стороны более эффективными с точки зрения сохранения неограниченных ресурсов нашей планеты, иметь минимальное воздействие на окружающую среду, а с другой стороны обеспечивать высокое конечное качество продукции. Прикладной задачей ученых всего мира является создание комфортной среды обитания человека или оптимизация системы «человек–материал–среда обитания». Это сложнейшая задача, которую невозможно решить при помощи моно- и междисциплинарного подхода, исследование сложных систем возможно только за счет трансдисциплинарного подхода [1].

Одной из новых технологий, развивающейся на стыке кибернетики, механики, материаловедения и других дисциплин, является строительная 3D-печать как отдельных конструкций, так и зданий, и сооружений в целом [2–4].

Серьезным препятствием на пути широкомасштабного внедрения аддитивных технологий в строительную практику является отсутствие соответствующих сырьевых смесей, полностью адаптированных для указанных целей, а также методических рекомендаций по их разработке. Разрабатываемые составы, по совокупности

своих показателей должны быть «революционными», т.е. значительно отличаться от традиционных, чтобы полностью соответствовать духу и требованиям новых технологий [5–7].

Разработка строительных композитов со свойствами изначально адаптированными под требования строительной печати и формирование принципов их получения, обуславливает **актуальность**, теоретическую и практическую ценность исследований в обозначенной сфере.

Методология. Физико-механические показатели материалов и свойства композиционных вяжущих определялись по стандартным методикам, с обязательным условием обеспечения сопоставимости результатов.

Получение композиционных вяжущих производилось совместным помолом товарных портландцементов с минеральными добавками до удельной поверхности 490...520 м²/кг.

Сохранность во времени свойств формовочных смесей и степень их загустевания оценивалась визуально.

Основная часть. Процесс строительной печати можно условно разделить на три основных этапа, имеющих различные цели. Условность деления состоит в том, что технологически, обозначенные этапы могут в одних и тех же установках, совмещаться во времени и т.п.

Этап 1. Приготовление формовочной смеси с необходимыми итоговыми или промежуточ-

ными характеристиками. Теоретическими предпосылками проектирования данного этапа служат базовые принципы строительного материаловедения, в том числе технологии бетонов. Промежуточные характеристики смеси формируются тогда, когда они претерпевают значительные запланированные изменения на последующих этапах, например, изменение вязкости и реологических характеристик смеси в процессе печати. Другим вариантом может быть введение дополнительных ингредиентов, обеспечивающих формирование окончательных показателей непосредственно в процессе экструдирования. Основными выходными показателями данного этапа можно считать вязкость и реологические особенности смеси, способность сохранять однородность (не расслаиваться), время сохранения свойств.

Этап 2. Укладка смеси в конструкцию. В 3D аддитивных технологиях данный этап осуществляется с помощью формующего устройства часто называемого печатающей головкой строительного принтера. Работа формующих устройств может основываться на различных принципах, формирующих требования к свойствам формовочных смесей. Выходными параметрами данного этапа являются геометрические параметры слоя уложенного в конструкцию материала, способность сохранять эти параметры заданное время с учётом всех сопутствующих внешних воздействий (температура, влажность, ветер, вибрация, акустическое воздействие и т.п.)

Этап 3. Фиксация показателей отформованного слоя, достигаемая за счёт полного схватывания формовочной массы, либо за счёт её значительного загустевания. Выходным параметром этапа является время набора прочности отформованного материала, достаточной для восприятия нагрузок от последующих укладываемых слоёв.

Как показывает анализ публикаций, получившим наибольшее распространение принцип работы формующего устройства строительного 3D принтера является *экструдирование* пластичной смеси из сопла небольшого сечения [8-10]. Ширина и толщина как правило, составляет 20...40 мм. Необходимая толщина конструкций обеспечивается укладкой нескольких рядов смеси, со сплошным или сотоподобным заполнением внутреннего пространства.

Продавливание смеси через сопло экструдера может производиться различными способами [11]:

1. Под действием собственного веса. Данный способ предполагает применение формовочных смесей повышенной подвижности и сопел увеличенного сечения. Основной проблемой является

пониженная способность смеси сохранять приданную форму. Кроме того, для обеспечения высокой подвижности формовочные массы должны содержать либо повышенное количество воды, либо суперпластификатора. Первое плохо с точки зрения повышенной усадки, пониженной морозостойкости и опасности расслоения, второе – с экономической точки зрения. Производительность формующего устройства осуществляется изменением проходного сечения сопла и изменением реологических характеристик смеси. Узким местом является непостоянство давления столба смеси изменяющейся высоты, влияющее на скорость её истечения. На наш взгляд развитие данного способа в таком виде, не является перспективным.

2. Подача смеси шнеком, позволяет существенно расширить диапазон приемлемых вязкостей формовочных смесей, регулировать в широких пределах производительность формующего устройства. Появляется возможность подмешивать жидкие функциональные добавки в зону работы шнека, за необходимое время до укладки в конструкцию. За счёт этого появляется возможность обеспечить быстрое схватывание или, как минимум, загустевание уложенной формовочной массы, необходимое для укладки последующих слоёв.

3. Обеспечение подачи смеси за счёт вибрации. Данный способ может быть реализован за счёт установки вибраторов в районе сопла, или размещения в канале подачи смеси вибровозбудителей. В первом случае необходимо обеспечить эластичное соединение вибронасадки с расходным бункером. Тиксотропное разжижение смеси приведёт к её проходу через сопло формующего устройства, а последующее восстановление разрушенной структуры – к её загустеванию и фиксации приданной формы.

При разработке формующих устройств целесообразно и комбинирование различных рассмотренных принципов работы. В этих случаях появляется возможность уменьшения влияния негативных факторов, присущих отдельным системам.

Для эффективной работы формующих устройств, во всех рассмотренных случаях, смесь должна обладать определёнными реологическими характеристиками, среди которых наибольшее значение имеет предел текучести, вязкость при различных скоростях перемешивания, площадь петли гистерезиса, характеризующая степень структурированности системы и скорость её восстановления после разрушения.

Как было показано в ряде работ, реология формовочных смесей, кроме водосодержания, вида и количества пластифицирующей добавки,

в значительной степени зависит от гранулометрического состава, знака и величины заряда, количества активных центров на поверхности твёрдых частиц. Эти факторы, в свою очередь, в значительной степени определяются дисперсностью, минеральным составом твёрдой фазы и строением её поверхности. На этом также основана современная концепция выбора эффективного сырья для строительных композитов с учётом его генезиса и свойств [12–16].

Наиболее удобным, с практической точки зрения, способом формирования у материалов требуемых реологических свойств является разработка соответствующих композиционных вяжущих.

Под композиционным вяжущим (КВ), в данном случае, понимается продукт, полученный совместным помолом или простым смешением вяжущей основы и комплекса минеральных и химических добавок. Важной особенностью КВ является адаптированность его свойств под решение определённой задачи, что отличает его от портландцемента и его разновидностей, имеющих универсальное назначение.

В качестве вяжущей основы КВ может выступать портландцемент, гипс и др., а также их смесь. В качестве минеральных добавок – разнообразные порошкообразные материалы. В качестве химических добавок – любые известные модификаторы.

Роль вяжущей основы и химических добавок – формирование основных свойств композиции,

в соответствии с основными принципами строительного материаловедения.

Функции минеральной добавки более разнообразные:

- прямое или опосредованное влияние на формирование специфических свойств композиции, обусловленных решаемой задачей. В т.ч. физико-механических, микроструктурных, реологических и т.п.;

- создание заданных условий для протекания и управление процессами гидратации вяжущей основы КВ, в том числе обеспечение совместности различных компонентов;

- оптимизация экономических показателей, в частности повышение активности при снижении содержания вяжущей составляющей; понижение активности с целью приведения её в соответствие с текущими потребностями и т.п.

Значимость и искусство правильного выбора компонентов минеральной добавки заключается в том, что обозначенные задачи решаются с помощью компонента, имеющего низкую химическую активность или не проявляющего её вообще; как правило, являющегося низкоценным природным или вторичным продуктом, тем не менее, способным в очень широких пределах изменять свойства строительных композиций.

Так, за счёт применения различных видов минеральных добавок на основе вторичного строительного сырья был получен ряд композиционных вяжущих, содержащих 50 % клинкерной составляющей, соответствующих различным реологическим типам (рис. 1).

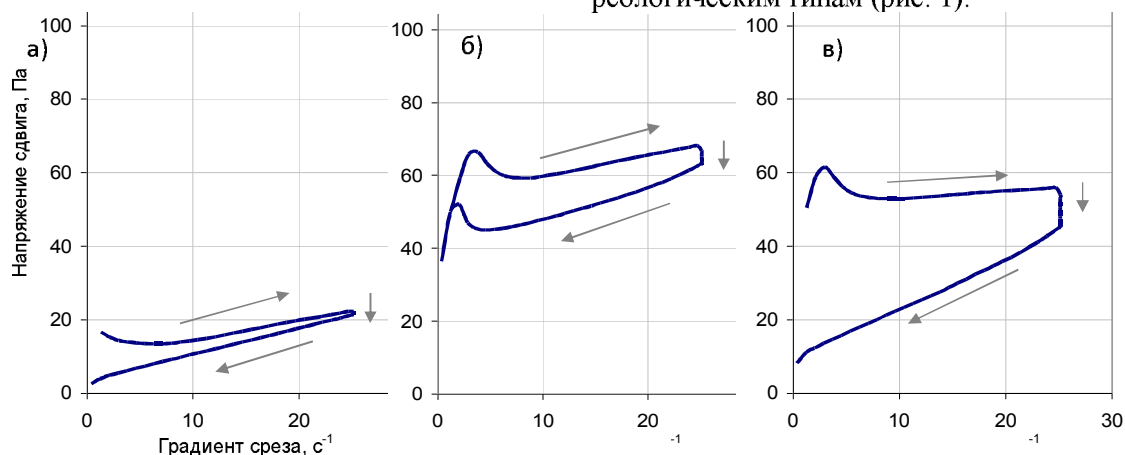


Рис. 1. Реологические кривые композиционных вяжущих с 50 % различных минеральных добавок (В/Ц=0,3, с суперпластификатором):

а) отходы производства автоклавного газобетона; б) бой тяжелого бетона; в) бой лёгкого бетона на пористых заполнителях

Как видно, использование различных продуктов в качестве минеральной добавки в составе композиционных вяжущих, полученных совместным помолом, оказывает большое влияние на характер их реологические показатели. Так, состав, содержащий в качестве добавки отходы

производства автоклавного газобетона (рис. 1 а), имеет малый угол наклона прямой ветви реограммы по отношению к оси «х». Смеси с такими характеристиками в наибольшей степени подходят к первому из рассмотренных способов экс-

трудирования, поскольку обладают способностью хорошо перемещаться по трубопроводам и вытекать из сопла под действием собственного веса с минимальным налипанием на стенки оборудования. Однако, очень низкий предел текучести, будет приводить к самонивелированию (растеканию) отформованного слоя. Малая площадь участка между прямой и обратной ветвями реограммы также является признаком пониженной склонности такой смеси к структурированию и сохранению приданной формы. Таким образом, составы имеющие подобный тип реологической кривой в минимальной степени подходят для применения в системах строительной печати.

Реограмма, показанная на рисунке 1 б, имеет более сложный характер. Смеси на основе композиционного вяжущего, содержащего бой тяжёлого бетона на основе кварцитопесчаника, при малых градиентах скорости сдвига (примерно соответствующих гравитационным воздействиям) имеют высокую структурную вязкость, которая резко понижается после преодоления некоторого невысокого порогового значения градиента скорости сдвига. Данный порог соответствует перемешиванию массы со скоростью, достигаемой при работе шнекового питателя. Дальнейшее повышение скорости перемещения формовочной массы происходит без существенного изменения динамической вязкости. Обратная ветвь реограммы аналогична прямой, с тем же характерным пиком в области малых градиентов скорости сдвига, умеренной площадью петли гистерезиса, что свидетельствует о быстром восстановлении структурной вязкости после снятия внешних воздействий практически на прежнем уровне.

Составы, обладающие такими реологическими особенностями, на наш взгляд в наибольшей степени отвечают второму принципу работы формующего устройства – шнековой подаче. Их важным достоинством является достаточно лёгкое разрушение первоначальной структуры – что важно для лёгкости экструдирования, и быстрое её восстановление практически на исходном уровне – что важно для фиксации приданной смеси формы.

Третий тип реологической кривой, характерный для вяжущего с добавкой измельчённого керамзитобетона, отличается от предыдущего большим расхождением прямой и обратной ветвей реограмм (рис. 1 в), что свидетельствует о ярко выраженных тиксотропных свойствах и низкой скорости восстановления, разрушенной при механических воздействиях первоначальной структуры смеси. С одной стороны, это предполагает лёгкость управление укладки таких составов под действием вибрации (третий из рассмотренных принципов работы формующих

устройств). Однако их эффективное практическое применение, на наш взгляд, возможно при использовании средств временного поддержания уложенного слоя, до восстановления им своей исходной структурной вязкости. В качестве подобных технических средств могут выступать поддерживающие скользящие щитки, закреплённые на формующей головке строительного принтера.

Безусловно, формирование итоговой совокупности свойств формовочной массы происходит под влиянием большого количества факторов. К наиболее существенным из которых, кроме рассмотренных, относятся вид и количество заполнителя, дозировка воды и химических добавок, температура смеси и др. Однако, именно особенности применяемого вяжущего и тонкодисперсных наполнителей, в наибольшей степени отвечают особенностям поведения массы при различных видах механических воздействий.

Следующей важной задачей организации процесса строительной печати является фиксация достигнутой конфигурации отформованного слоя. К её решению, на наш взгляд, есть три основных подхода:

1. Организация продолжительной выдержки между укладкой слоёв, достаточной для их схватывания и набора первоначальной прочности.

2. Применение смесей со сложными реологическими характеристиками, которые, как было сказано ранее, обретают достаточную удобоукладываемость при достаточной интенсивности внешних воздействий, но способны структурироваться и сохранять форму под действием силы тяжести и веса последующего слоя (слоёв).

3. Программирование времени схватывания смеси, которое возможно за счёт применения сильных ускорителей схватывания цементных систем и замедлителей гипсовых систем. Перспективным является так же сочетание особенностей гипсовых и портландцементных систем, с учётом особенностей их совместной работы. Данное сочетание может быть реализовано в формате известных композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) или цементных вяжущих с добавкой ограниченного количества гипса, о которых пойдёт речь в данной работе.

Следует учитывать, что традиционный способ использования добавок-ускорителей (введение на этапе приготовления бетонной смеси) в данном случае идёт в разрез с необходимостью сохранять свойства смеси в течение выработки её запаса в формующем устройстве. Устранение этого противоречия возможно за счёт непрерывного приготовления в формующем устройстве, либо подмешивания в базовый состав отдельных функциональных ингредиентов.

Учитывая необходимость снижения стоимости составов для 3D печати [17–20], что нужно с точки зрения поддержания её конкурентоспособности по отношению к традиционным способам строительства, были опробованы следующие методы:

1. Введение ограниченных количеств гипса в системы на цементном вяжущем.

2. Подмешивание ускорителя схватывания – пищевой соды, к стандартной растворной композиции.

Испытания предложенных способов на первом этапе проводились на портландцементных, для исключения влияния минеральных добавок, входящих в состав КВ на результат.

Основной проблемой введения гипса в состав цементных композиций является риск образования опасных разновидностей этtringита, сопровождающийся падением прочности или полным разрушением материала. В нашем случае, в

качестве основного вяжущего предлагается сохранить портландцемент, а гипс вводить в сравнительно небольших количествах для быстрого повышения пластической прочности смеси. Так же отличием от традиционных КВ, является отсутствие отдельно вводимой активной минеральной добавки, а для предотвращения возникновения деструктивных явлений предлагается использовать вместо обычного портландцемента сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками.

Были изготовлены и испытаны образцы на разных портландцементных: обычном бездобавочном и сульфатостойком с минеральными добавками. В них вводилось 5 и 10 % строительного гипса. Соотношение вяжущее: песок принималось 1:1, В/В отношение во всех случаях составило 0,4. Результаты испытаний представлены на рисунке 2.

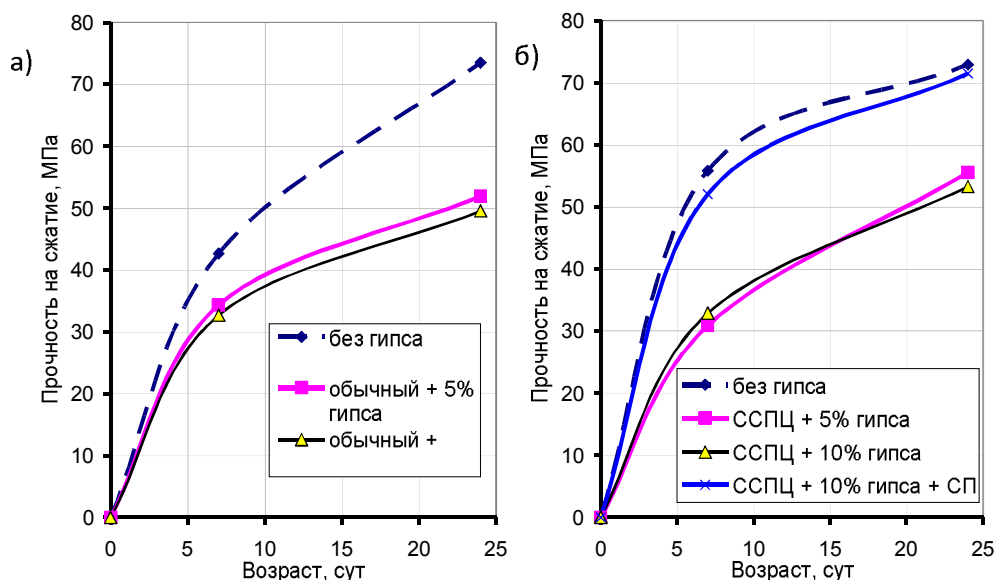


Рис. 2. Влияние добавки гипса на твердение цементов:
а) бездобавочного; б) сульфатостойкого с минеральными добавками

Составы, не содержащие гипс, имеют стандартные для цементных систем время схватывания и кинетику набора прочности. Введение гипса в указанных дозировках ощутимо снижает прочностные показатели составов, в частности марочную прочность на 25...30 %, что связано как со снижением доли цемента в смешанном вяжущем, так и его с негативным влиянием на протекание процессов структурообразования.

Обращает на себя внимание, что скорость набора прочности составов с добавкой гипса практически не зависит от количества последнего. Вероятной причиной указанных явлений является наличие в данных системах этtringита, причём как в первичной, так и во вторичной фор-

мах. Образование первичного этtringита, не влечёт ощутимого снижения прочности, подтверждением чему является высокая относительная ранняя прочность (7 сут) 80 % от контрольного состава для бездобавочного цемента. Переход части первичного этtringита во вторичный замедляет процесс набора прочности, что видно по более низкому углу наклона кривых на рисунке 2 а.

В случае с сульфатостойким цементом степень замедления данного процесса ощутимо меньше ввиду менее благоприятных условий для перехода этtringита во вторичную форму из-за связывания части выделяющейся извести активной минеральной добавкой. Первичный же этtringит, вероятно оказывает микроармирующее

повышению его прочности. Подтверждением этому может служить вид образцов после испытания на прессе (рис. 3). Степень их механиче-

ских повреждений резко снижается по мере повышения дозировки гипса, при том что несущая способность ими была полностью утрачена.



Рис. 3. Характер разрушения образцов при испытании на прессе

Как видно из рисунка 4 добавка гипса хорошо справляется с основной возложенной на неё задачей – обеспечением быстрого контролируемого схватывания смеси, сокращая его до разумного минимума (2 мин) при введении в количестве 10 %. Введение добавки пластификатора является контрмерой при излишне быстром загустевании и позволяет более точно регулировать этот процесс, попутно обеспечивая повышение прочности бетона аддитивного формирования.

Технически, работа с подобными составами возможна при непрерывном приготовлении смесей непосредственно в формующем устройстве перед экструдированием.

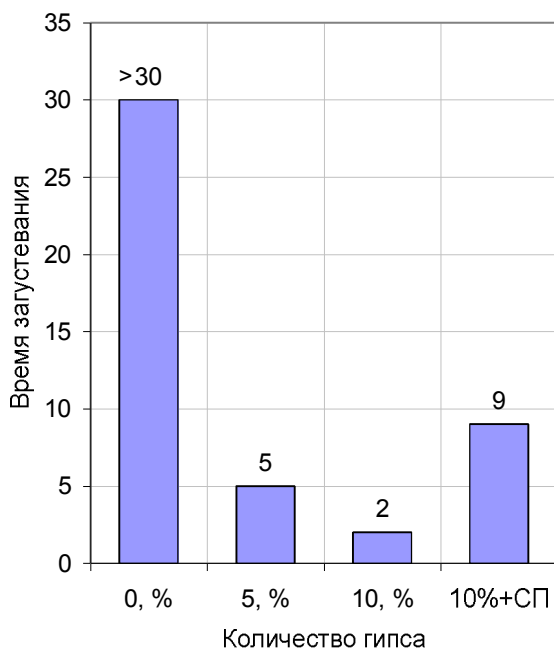


Рис. 4. Зависимость времени загустевания смеси от количества добавок

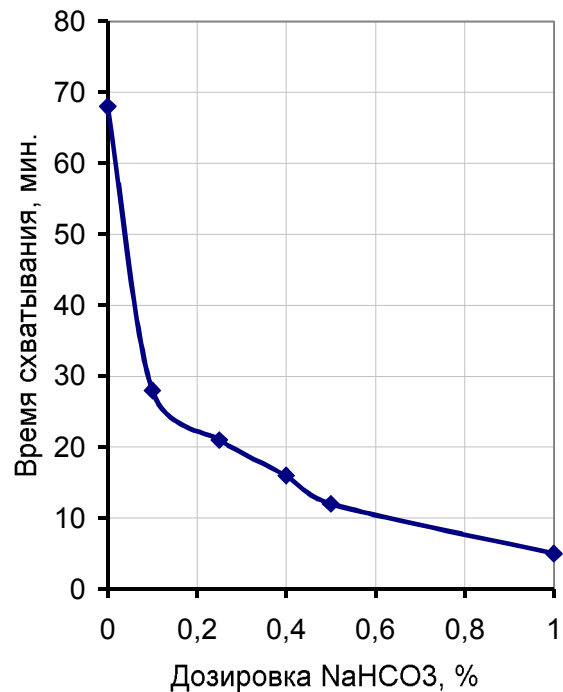


Рис. 5. Влияние дозировки пищевой соды на время схватывания смеси

Введение раствора пищевой соды в формовочную массу, не содержащую ускорителей схватывания, путём подмешивания её в формовочном устройстве перед экструдированием, позволяет обеспечить её загустевание через заданный промежуток времени (рис. 5). При этом исходная смесь без ускорителя схватывания сохраняет свои первоначальные свойства более 30 мин, что вполне достаточно для выработки запаса смеси в формующем устройстве. Кроме того, повторное перемешивание смеси снижает её склонность к расслоению, ускоряет схватывание и набор первоначальной прочности.

Выводы. 1. Рациональный подбор состава композиционных вяжущих позволяет с минимальными затратами заложить основы требуемого характера реологических характеристик формовочных смесей, диктуемых особенностями технологии аддитивного изготовления строительных конструкций. Кроме того, изучение реологических показателей смесей может быть использовано как один из критериев оценки пригодности разрабатываемых составов для подобных технологий, что необходимо для их широкомасштабного внедрения в повседневную практику строительства.

2. В качестве средств обеспечения схватывания формовочной смеси в заданный момент времени, при строительной печати предлагается:

– использование сульфатостойкого портландцемента с минеральными добавками с введением до 10 % строительного гипса (от массы цемента) совместно с суперпластификатором СП-1, что позволяет достаточно точно программировать момент схватывания смеси в интервале 2...10 мин. Интенсивность деструктивных процессов, связанных с образованием этtringита находится на приемлемом уровне, не вызывающем опасений за поведение данной композиции в будущем. Имеет место микроармирующий эффект от возникновения первичного этtringита (волокнистые кристаллы). Реализация данного метода возможна при затворении смеси в непрерывном режиме непосредственно перед экструдированием.

– подмешивание раствора пищевой соды (или аналогичных добавок) в исходный состав (не содержащий ускорителей) в формующем устройстве непосредственно перед экструдированием позволяет обеспечить схватывание смеси во временном интервале 5...20 мин, что отвечает особенностям технологии строительной печати.

**Работа выполнена в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Архитектурная Геоника. Взгляд в будущее // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. №31-1 (50). С. 131–136.

2. Ивасюта А.В., Иванов Н.А. Перспективы использования технологии 3d-печати при строительстве зданий и сооружений // Научное обозрение. 2016. № 9. С. 52–55.

3. Литвинцева Е. Битва за 3D: приживутся ли в России «напечатанные» дома // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2016. Т. 9-10. С. 48–49.

4. Рошин В.А., Гнездилов С.Г. Применение объемной печати в строительстве // Механизация строительства. 2016. Т. 77. № 4. С. 16–21.

5. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калюшина С.В. Применение 3d-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 90–101.

6. Пермяков М.Б., Пермяков А.Ф., Давыдова А.М. Аддитивные технологии в строительстве // European Research. 2017. № 1 (24). С. 14–15.

7. Руднев И.В., Жаданов В.И., Соболев М.М. Аддитивные технологии в строительстве. Проблемы и перспективы // В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбургский государственный университет. 2017. С. 932–935.

8. Ватин Н.И., Чумадова Л.И., Гончаров И.С., Зыкова В.В., Карпеня А.Н., Ким А.А., Финашенков Е.А. 3D-печать в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1 (52). С. 27–46.

9. Савицкий Н.В., Шатов С.В., Ожищенко О.А. 3D-печать строительных объектов // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, 2016, № 3 (216). С. 18–26.

10. Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Дребезгова М.Ю., Ермолаева А.Э. 3D-аддитивные технологии в сфере строительства // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. 2016. С. 157–167.

11. Герасимов М.Д., Горшков П.С., Бражник Ю.В., Грудина В.А. Разработка предложений по использованию вариаций насадок (сопел) для строительного 3d принтера // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 5. С. 89–97.

12. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Сулейманов А.Г., Кара К.А. Неавтоклавные газобетоны на композиционных вяжущих для энергоэффективного строительства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 47–52.

13. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Савин А.В., Шадский Е.Е. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий // Вестник Иркутского

государственного технического университета. 2014. №5 (88). С. 95–99.

14. Вешнякова Л. А., Фролова М.А., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Михайлова О.Н., Махова Т.А. Оценка энергетического состояния сырья для получения строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 53–55.

15. Куприна А.А., Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Гинзбург А.В. Композиционные вяжущие для эффективных строительных растворов [Электронный ресурс] // Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук, Баженова Юрия Михайловича. Белгород. 2015.

16. Красикова О.В. Разработка цементных смесей с добавками на основе минеральной базы республики Марий Эл для печати строительных конструкций различного назначения для малоформатных 3d-принтеров // В сборнике: Интеллектуальная собственность и современные техника и технологии для развития экономики материалы IV республиканской молодежной научно-практической конференции в рамках Всероссийского студенческого форума «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России». 2016. С. 42–45.

17. Удодов С.А., Белов Ф.А., Золотухина А.Е. 3d-печать в строительстве: новое направление в технологии бетона и сухих строительных смесей // В сборнике: International innovation research Сборник статей победителей VI Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Г.Ю. Гуляева. 2017. С. 58–61.

18. Копаница Н.О., Сорокина Е.А. Особенности формирования требований к строительнотехническим характеристикам бетонных смесей для 3d-печати // В сборнике: Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2016) материалы III Международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2016. С. 407–410.

19. Обелова В.С., Круталевич С.Ю. Обзор строительных проектов, реализованных аддитивными технологиями // В сборнике: Дизайн и искусство - стратегия проектной культуры XXI века (ДИСК-2016) сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей. 2016. С. 87–90.

20. Далинчук В.С., Власенко Д.А. Основные аспекты печати домов с помощью 3d принтера // Инновационное развитие. 2016. № 2 (2). С. 6–13.

Информация об авторах

Лесовик Валерий Станиславович, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: naukavs@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Елистраткин Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Глаголев Евгений Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: bolotin@belregion.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шаталова Светлана Вячеславовна, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: shatalova.sv@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Стариков Михаил Сергеевич, магистр кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: m.starikov@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2017 г.

© Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Шаталова С.В., Стариков М.С., 2017

Lesovik V.S., Elistratkin M.Yu., Glagolev E.S., Shatalova S.V., Starikov M.S.
COMPOSITIONS PROPERTIES FORMATION FOR THE BUILDING PRINTING

3D construction printing attracts the attention of the general public with its novelty, futurism of the created forms and sharp contrast with the philistine view of the construction site.

Experts see it as a great opportunity to save all types of resources, shorten construction time, the possibility of implementing advanced design developments, but also serious problems such as: the lack of a general concept for additive technologies development, limited nomenclature and high consumables cost and their application experience.

The article analyzes the interrelationships of technological factors with the properties of molding compositions, suggests their practical implementation principles.

Keywords: *3D construction printing, additive technologies, composition requirements, rheological indicators, hardening management.*

Information about the authors

Lesovik Valeriy Stanislavovich, DSc, Professor.

E-mail: naukavs@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Elistratkin Mikhail Yur'yevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Glagolev Evgeniy Sergeevich, PhD, Assistant professor.

E-mail: bolotin@belregion.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shatalova Svetlana Vyacheslavovna, Research assistant.

E-mail: shatalova.sv@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Starikov Mikhail Sergeevich, Assistant professor.

E-mail: m.starikov@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in July 2017

© Lesovik V.S., Elistratkin M.Yu., Glagolev E.S., Shatalova S.V., Starikov M.S., 2017