

Механическое воздействие (в годы выхода наледы на дорогу) осуществляют с помощью бульдозера К-700. Бульдозер К-700 возможно разрушить наледь не на всю глубину, но частичное разрушение будет способствовать таянию льда при применении реагентов (химическом воздействии).

Химическое воздействие подразумевает применение хлористых солей натрия, которые способствуют таянию наледного льда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, В. Р. Наледи и наледные процессы в Восточной Сибири / В. Р. Алексеев. – Новосибирск, 1976. – 154 с.

2. Дементьев, В.А. Искусственные сооружения на водотоках с наледями / В.А. Дементьев. – Ленинград: Стройиздат, 1983. – 180 с.

3. Методические рекомендации по проектированию по проектированию и возведению противоналедных устройств на автомобильных дорогах Сибири. – Новосибирск, Союздорнии, 1971.

Меренцова Г.С. – д.т.н., профессор кафедры «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: adio-06@mail.ru.

Милькина С.В. – бакалавр ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: milkinas@list.ru.

УДК 624.131.23

ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ИНЪЕКЦИОННОГО МЕТОДА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

И. В. Носков, С. А. Ананьев, М. А. Ковалева

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Приводятся эффективных устройств для приготовления инъекционных растворов, технологические приемы, обеспечивающие повышение активности вяжущих. Показано, что при активации вяжущих в растворах, может быть значительно сокращен расход цемента, что в конечном итоге во многом способствует снижению себестоимости продукции.

Ключевые слова: грунт, раствор, инъекция, активация, технология, метод.

Успешное ведение работ по нагнетанию инъекционного раствора в грунтовое основание во многом зависит от его подвижности и однородности состава раствора. Учитывая тот факт, что практически невозможно освободить грунт основания от пылеватых и глинистых частиц, вопрос создания высоко текучих и подвижных растворов, способных эффективно проникать в неоднородное основание является, на наш взгляд, одной из наиболее важных и актуальных проблем закрепления оснований. Кроме того, уменьшая стоимость работ по закреплению грунтов основания применением в качестве вяжущих низко активных зол и шлаков с незначительными добавками цемента, мы не сможем достичь высокой прочности раствора без дополнительной активации вяжущих материалов.

Основные вяжущие материалы (цемент, золы, шлаки и пр.) поступают на предприятие в виде тонкоизмельченных порошков с актив-

ной поверхностью от 1000 до 5000 см²/г и более. При этом известно, что гидравлическая активность вяжущих и полнота их использования во многом зависят не только от тонкости помола, но и от их гранулометрического состава и степени однородности приготовленного материала, т.е. равномерности перемешивания частиц вяжущего с водой.

В исследованиях д.т.н., профессора И.Н. Ахвердова показано, что несмотря на то, что удельная поверхность измельченных вяжущих достаточно высока, гранулометрический состав их далеко не постоянен и значительная часть зерен (40-50%) имеет размеры более 50-60 микрон. Это означает, что большая часть цемента в бетоне используется в качестве микрозаполнителя, так как в процессе роста прочности цементного камня основную роль играют фракции зерен размером от 3 до 30 микрон. Зерна размером 40-60 микрон и более остаются негидратированными и лишь

через шесть месяцев, толщина гидратируемой пленки составляет 15 микрон.

Неполнота использования цемента еще больше усугубляется трудностями в достижении равномерного распределения воды между частицами вяжущего. Мельчайшие частицы зерен цемента, находящиеся в воде, подчиняясь законам молекулярного притяжения, стремятся объединиться в фолликулы, препятствуя тем самым равномерности их смачивания, ухудшая технологические свойства приготовленной смеси и прочности качества затвердевшего материала.

Условно весь процесс активации может быть разделен на ряд отдельных операций, включающих в себя:

1. Диспергирование – разрушение агрегатов крупных частиц вяжущего, снятие окисных и гидратационных пленок;
2. Смачивание твердой дисперсной фазы;
3. Равномерное распределение частиц в связующем.

Активация интенсифицирует молекулярно-дисперсное растворение, механическое измельчение пептизирующее действие OH^- ионов, в результате чего происходит предельное насыщение смеси вяжущего коллоидными частицами, повышается активность основных клинкерных материалов трехкальцевого силиката (3CaOSiO_2), белита (2CaOSiO_2) и ускоряется рост вторичной силикатной структуры с более мелкими кристаллами.

Растворы и бетоны, приготовленные на основе активированных вяжущих, имеют повышенную прочность, водонепроницаемость и морозостойкость, имеют лучшее сцепление с арматурой и ранее уложенным бетоном, хорошо инъецируются по трубам и почти не имеют водоотделения. Кроме того, в результате активации вяжущих в растворах и бетонах, может быть значительно сокращен расход цемента, что в конечном итоге во многом способствует снижению себестоимости продукции.

Из существующих способов механической активации наибольшее распространение получил способ дополнительного диспергирования («домол») вяжущего. На большинстве действующих производств и в типовых проектах, в качестве основного технологического оборудования для диспергирования и перемешивания смесей служат шаровые или вибрационные мельницы, тяжелые бегуны и дезинтеграторы, различного типа лопастные

смесители, как правило с числом оборотов вала не более 100-50 об/мин.

Большинство из перечисленных видов оборудования громоздко и представляет собой металло- и энергоемкие установки. Кроме перечисленных установок для диспергирования и перемешивания смесей, в строительной промышленности применяют также струйные, коллоидные, гравитационные, планетарные и другие мельницы, а также специальные смесители – активаторы различной конструкции.

Значительное разнообразие механизмов и различного рода установок и агрегатов для обработки смесей говорит о еще недостаточном совершенстве процессов диспергирования и гомогенизации компонентов вяжущего при приготовлении растворов и бетонов. В связи с чем особое значение приобретает необходимость исследований в области изыскания наиболее эффективных методов и механизмов для активации цемента, отвечающих современным требованиям строительства.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике используется несколько технологических приемов, обеспечивающих повышение активности вяжущих, к основным из которых относятся:

1. Активация механическим диспергированием – сухой и мокрый домол цемента;
2. Виброактивация.

Интенсивность активации вяжущих, осуществляемой домолом и виброобработкой может быть значительно повышена за счет использования различного рода химических добавок и тепловой обработки бетонов, ускоряющих процесс адсорбирования и химического диспергирования. Оба метода (домол и виброобработка) значительно повышают прочность активированного цементного камня, морозостойкость и водонепроницаемость бетонов и растворов.

Как следует из таблиц 1 и 2, прочность образцов, приготовленных на цементном тесте, активированном по методу повышается в меньшей степени, чем при методах активации путем домола цемента. Это можно объяснить тем, что в первом случае зерна цемента дробятся значительно меньше и имеет место лишь пептизирующее протекание процессов разрушения агломерированных цементных «мицелл», улучшение смачивания и более равномерное распределение воды вокруг цементных зерен.

ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ИНЪЕКЦИОННОГО МЕТОДА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

Таблица 1 – Эффективность способов домола цемента на различном оборудовании

Тип мельницы	Длительность обработки мин	Удельная поверхность цемента $\text{см}^2/\text{г}$	Степень гидратации	Прирост удельной поверхности за 1 мин, домол, $\text{см}^2/\text{г}$	Прирост прочности отнесенной к 1 мин. домол, $\text{кг}/\text{см}^2$
Сухой домол					
Шаровая мельница	180	6300	-	19	0,7
Вибромельница М-10	19	6012	-	164	2,2
Мокрый домол					
Шаровая мельница	70	5466	15,6	87	1,6
Вибромельница М-10	7	5547	13,8	378	11,1
Глубинная гидровибромельница	7	6523	18,8	489	18,3

Примечание: исходный цемент имел удельную плотность $2900 \text{ г}/\text{см}^3$

Таблица 2 – Влияние виброактивации цементного теста на прочность образцов

№ метода	Отношение прочности образцов на виброактивированном цементном тесте к прочности контрольных образцов в возрасте, в %			Примечание
	3	7	28	
1	170-290	-	104-130	Вибробулава 600 кол. в мин. В/Ц=0,2-0,3
2	150	120	130	Виброплощадка, 300 кол. в мин. В/Ц=0,23
3	100-150	-	90-150	Виброплощадка, 3000 кол. в мин + вибробулава, 1400 кол. в мин. В/Ц=0,6-0,8
4	100	-	100	Виброплощадка, 300 кол. в мин + поверхностный пневматический вибратор, 100 кол/мин В/Ц=0,2

Несмотря на значительное улучшение качества бетона и растворов, приготовленных на основе вяжущих, активированных методом домолы и виброобработки, эти способы активации не находят широкого применения в промышленности по причинам высокой энергоемкости, металлоемкости, сложности в обслуживании, динамического характера работы и малой эксплуатационной надежности.

3. Гидродинамическая активация-турбулентная активация, обработка цементного теста ультразвуком, в электрическом поле постоянного, либо переменного тока. Этот способ обработки вяжущих, по отношению к домолу и виброобработке цемента является относительно молодым и основывается на современных достижениях химии и физики в

строительстве, а также последних представлений о структурно-механических свойствах дисперсных систем и физико-химической механики твердения растворов и бетонов.

В настоящее время известно несколько конструкций активаторов смесителей, в которых перемешивание смесей осуществляется за счет образования турбулентного потока.

Первые исследования, выполненные в этом направлении, принадлежат советскому ученому Н.А. Мощанскому. Предложенный им в 1939 году способ интенсивной обработки цементного теста и цементно-песчаного раствора в специальных мешалках-гидрататорах был проверен и изучен в лабораторных и промышленных условиях.

В настоящее время этот способ перемешивания и активации растворов заложен в серийно-выпускаемых смесителях и большинстве аппаратов для перемешивания в химической промышленности.

Обеспечивая высокую степень перемешивания растворов, эти смесители не способствуют снятию гидратных окисных пленок с зерен вяжущего, в результате чего потенциальные вяжущие свойства цементов используются не полностью.

На использовании силы механического и гидравлического удара, при которых процесс активации сопровождается интенсивной гидратацией вещества, коллоидацией раствора образованием цементного камня однородной структуры высокой плотности и прочности. Диспергатор состоит из ротора, броневых экранов, трубопровода, приемного бункера и двигателя. Ротор самоцентрирующийся, имеет 10-12 рабочих колес, насаженных неподвижно на общий вал, заключенный в металлический корпус. Вращаясь со скоростью 3000-5000 об/мин, ротор придает вылетающей гидросмеси высокую скорость и давление в зоне удара, от 36-100 атм. Отражательная броня и втулка колес ротора имеют концентрически расположенные цилиндрические канавки, предназначенные для возврата гидросмеси к центру ротора и повышения давления. Отдозированная сухая смесь, предварительно перемешанная с водой, поступает на верхнее колесо вращающегося ротора, при этом центробежными силами тотчас отбрасывается на броневые экраны со скоростью 60-100 м/сек ударяется в броню. Далее, благодаря цилиндрической канавке, имеющейся в броне, гидросмесь отражается и по межколесному пространству возвращается к центру диспергатора, где после удара о втулки колеса устремляется в каналы нижележащего колеса. Этот цикл повторяется многократно.

Полученное таким путем вяжущее отличается большим содержанием готового гидрата, и гидроцемент на основе активации портландцемента марки 600 приобретает ранние сроки твердения, прочность, превосходящую контрольную примерно в три раза. При этом энергозатраты составляют 3-5 кВт/час на 1 м³. Сложность устройства, возможные динамические нагрузки от вращающихся деталей, малая производительность (120 л/час) и сравнительно высокие затраты электроэнергии, не дали модели возможности выйти за рамки лабораторно-экспериментальной. В настоящее время

предложена оригинальная электронно-струйная технология приготовления и обработки растворных смесей в струйных смесителях-активаторах непрерывного действия. Электронно-струйная технология относительно новое направление в заводской технологии приготовления бетона. Она разработана на стыке смежных наук: физической и коллоидной химии, газовой динамики, теории процессов в кипящем слое, теории электрических разрядов в газах.

В литературе встретились вопросы, рассматривающие в основном технологические процессы, протекающие на границах звуковых и сверх звуковых скоростей в газосмеси, в кипящем слое, и в зоне электрического поля. Здесь процессы перемешивания, активации, укладки и уплотнения бетонной смеси протекают одновременно в едином технологическом потоке и весь процесс приготовления бетонов можно отнести к разряду более совершенной химической технологии.

В настоящее время уже проведены исследования струйных смесителей непрерывного действия, усовершенствование электронно-струйной технологии приготовления бетонов и ее промышленное внедрение.

В результате этих исследований показано, что энергоемкость процесса обработки смесей в струйном смесителе составляет 0,7-0,9 кВт/м³ при металлоемкости смесителя до 52,5 кг/м³. Струйные смесители имеют меньшие, по сравнению с существующими, лопастные габариты и легко вписываются в типовые бетоносмесительные узлы. Существующие технологические трудности в части установки энергетических узлов для подачи пара и горячего воздуха, а также необходимой герметичности смесителя, в некоторой степени усложняют его конструкцию и возможность использования в передвижных и временных сооружениях для производства инъекционного раствора в строительных условиях. Метод турбулентной активации довольно широко применяется в заграничной практике, особенно для изготовления цементно-песчаных растворов при раздельном бетонировании. Так, например, в Польше в 1965 г. при подводном бетонировании бассейна института водного строительства Польской академии наук применялись турбулентные смесители. Рабочими органами этих смесителей служит турбина с регулирующим числом оборотов вала (от 100-4500 об/мин), которая производит перемешивание составляющих смеси. Раствор готовится в два этапа двумя спаренными смесителями. В первом

смесителе приготавливается цементное тесто, а во втором - цементно-песчаный раствор на основе активированного цементного теста. Аналогичный метод приготовления активированных растворов производится в турбулентных смесителях «Колкрит», выпуск которых осуществляется акционерным обществом, основанным в 1934 году Джоном Морганом. Эта фирма до настоящего времени является крупнейшим поставщиком оборудования для активации растворных смесей, наиболее эффективным из которых признаны роликовые смесители одно- и двухсекционные. Французским ученым М. Пападикисом разработан смеситель высокой турбулентности, применяемый для приготовления инъекционных растворов. Смеситель представляет собой сосуд, в котором в противоположных направлениях вращаются два ролика. Смесь увлекается валиками, отбрасывается на разделительную стенку и снова попадает в зазор между валиками. Скорость вращения валиков лабораторной модели смесителя изменяется от 0 до 10000 об/мин, а производственной установки 1500 об/мин. В общем случае активатор представляет собой блочную конструкцию, состоящую из отдельных секций, смонтированных на общей раме. Секции соединены между собой вихревыми камерами, в которых имеются специальные вихреобразователи, предназначенные для интенсификации процессов перемешивания и активации обрабатываемых водовяжущих смесей. Каждая секция состоит из вращающегося гладкого ротора, изготовленного из обычной малоуглеродистой стали и корпуса (статора), между которыми имеется кольцевой зазор малых размеров (3-4 мм). Цапфы ротора опираются на подшипники качения (шариковые), размещенные в корпусе. Привод ротора осуществляется от индивидуального электродвигателя, посредством клиномерной передачи. Число секций, окружные скорости роторов и размеры зазоров между ротором и корпусом устанавливаются в зависимости от исходной крупности твердых частиц смеси и требований технологии.

Принцип работы активатора-смесителя заключается в следующем. Обрабатываемые смеси вяжущих или растворов, после их предварительного перемешивания с водой в обычной мешалке поступают через приемный бункер в щель верхней секции машины, откуда вовлекаются поверхностью вращающегося ротора в рабочую зону кольцевого зазо-

ра. Под действием вращающегося ротора потоку смеси, проходящему между ротором и корпусом придается большая скорость и давление. При этом центробежными силами смесь с большим напором выбрасывается в вихревую камеру. В камере вследствие столкновения нагнетаемых противотоков, создаваемых смежными роторами, образуется интенсивное вихревое движение дисперсных частиц суспензии. Подвергаясь многократной циркуляции через рабочий зазор, смесь под воздействием гравитационных сил и гидродинамического напора последовательно проходит весь блок секций к разгрузочному лотку. Растворные смеси, приготовленные на активированном вяжущем, обладают лучшими показателями жесткости и подвижности в среднем в два раза. Проводя анализ всех способов активации можно сказать, что наиболее эффективным из всех существующих можно считать способ электрогидравлической активации воплощающий в себе одновременно несколько физико-химических порядков воздействия на смесь.

В связи с этим есть полные основания полагать, что если в одном устройстве создать одновременно несколько способов активации, налагающих свое воздействие на обрабатываемую смесь, то это в еще большей мере будет способствовать процессам физико-механического диспергирования цементов и улучшения реологических и прочностных свойств растворов, изготавливаемых на основе активизированных вяжущих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 47.13330.2010* «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» - 112 с.
2. СТО СРО-С 60542960 00025-2013 «Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве» - 45 с.
3. Сайт <http://www.findpatent.ru/patent/ru>.

Носков И.В. — к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: noskov.56@mail.ru.

Ананьев А.С. — аспирант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Ковалева М.А. — аспирант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.