

УДК 625.8:666.9

П. А. Лыщик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ);
С. В. Плышевский, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
А. И. Науменко, магистр технических наук, аспирант (БГТУ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В тех районах строительства лесных дорог, где нет прочных каменных материалов и высокого качества песков, возникает необходимость в замене дорогостоящего привозного камня и песка местным грунтом, укрепленным вяжущим материалом. Применение укрепленных грунтов, в том числе и различными отходами промышленности в конструктивных слоях дорожных одежд, обеспечивает значительное снижение стоимости строительства дорог и уменьшает потребность в привозных каменных материалах.

In those areas of building of wood roads where there are no strong stone materials and high quality of sand, there is a necessity for replacement of an expensive imported stone and sand the local ground strengthened by the knitting material. Application of the strengthened soils including strengthened with a various waste of the industry in constructive layers of road clothes, provides considerable depreciation of building of roads and reduces requirement for imported stone materials.

Введение. Возросшая в последние годы интенсивность движения создала перед дорожниками задачу: не имея высококачественных природных материалов в необходимых объемах, строить новые дороги, реконструировать существующие и укреплять их малоприспособными доломитовыми породами и отходами различных производств. Одновременно эти дороги должны отвечать требованиям прочности, долговечности и соответствовать нагрузкам от тягово-подвижного состава, используемого на вывозке древесины.

Создание таких дорожных конструкций может быть основано на использовании укрепленных грунтов.

Основная часть. Укрепленные грунты разнообразных состава и свойств характеризуются изменением прочностных и деформационных свойств в весьма широком диапазоне. Такие изменения в свойствах и прочностных характеристиках будут зависеть от вида применяемого вяжущего материала, его дозировки, свойств и состава грунта, от климатических условий местности.

Практический опыт проектирования и строительства автомобильных дорог с применением укрепленных грунтов в конструктивных слоях дорожных одежд показывает, что в назначении тех или иных слоев, их сочетании и толщины не может быть шаблона и единого решения для всех условий. Не все условия изучены с достаточной полнотой, однако сегодня уже накоплен большой опыт, позволяющий обоснованно применять укрепленные грунты в дорожных основаниях и покрытиях [1].

Большое разнообразие вяжущих и других веществ, применяемых для укрепления грунтов в широком диапазоне их гранулометрического, минералогического и химического составов, а также генезиса требует тщательного и внимательного подхода к их выбору.

При укреплении грунтов протекают во времени сложные и взаимосвязанные взаимодействия, направленные на превращение дискретного грунта в прочный монолитный слой.

Методы комплексного укрепления грунтов в зависимости от вида вяжущего подразделяются на следующие основные группы [2]:

- укрепление грунтов цементом;
- укрепление грунтов известью;
- шлаковое укрепление;
- комбинированное (комплексное) укрепление.

В процессе укрепления грунтов, взаимодействия неорганических вяжущих и коллоидно-глинистой составляющей грунты образуют материалы, обладающие повышенной морозостойкостью и долговечностью. Особенно это относится к комплексно укрепленным грунтам.

Так, для расширения сырьевой базы вяжущих материалов предлагается использовать комплексное минеральное вяжущее на основе портландцемента с микронаполнителями. В качестве наполнителей предлагается использовать тонкомолотые гранитоидные отсева Микашевичского карьера и твердые отходы асбестоцементных изделий (АЦИ), ОАО «Красносельскстройматериалы» и ПРУП «Кричевцементношифер». Количество данных отходов составляет около 850 т ежегодно.

Основным показателем качества цемента является его марка, численно выражающая гарантированный предел прочности при сжатии образцов, изготовленных в стандартных условиях. Исследование процесса твердения композиционного вяжущего с использованием в качестве добавок тонкомолотых гранитоидных отсеков и боя асбестоцементных изделий как в отдельности, так и их смесей проводили на образцах-кубиках [3].

Таблица 1

Результаты определения прочности образцов цементогрунта при сжатии

№ п/п	Состав вяжущего, % по массе	Прочность образцов, МПа		
		7 сут	14 сут	28 сут
1	100Ц	22,19	37,79	48,79
2	10От90Ц	23,21	25,66	32,53
3	20От80Ц	25,73	29,41	33,46
4	30От70Ц	22,11	25,29	26,88
5	50От50Ц	16,78	20,50	24,61
6	10Ш90Ц	20,59	24,49	28,92
7	20Ш80Ц	20,30	22,91	24,61
8	30Ш70Ц	19,02	22,14	23,40
9	50Ш50Ц	16,75	18,82	22,95
10	10Ш10От80Ц	19,34	23,29	35,06
11	10Ш20От70Ц	19,96	26,59	38,37
12	10Ш30От60Ц	17,75	20,41	24,54
13	10Ш50От40Ц	13,27	16,08	18,50
14	20Ш10От70Ц	17,10	18,36	22,01
15	20Ш20От60Ц	16,99	22,83	23,59
16	20Ш30От50Ц	14,54	15,60	19,22
17	20Ш50От30Ц	14,01	14,53	15,65
18	30Ш10От60Ц	16,94	17,28	21,29
19	30Ш20От50Ц	17,11	18,74	21,22
20	30Ш30От40Ц	15,39	17,45	19,87
21	30Ш50От20Ц	13,45	14,08	16,04
22	50Ш10От40Ц	15,31	16,36	16,88
23	50Ш20От30Ц	14,69	15,81	16,51
24	50Ш30От20Ц	13,47	14,01	14,87
25	50Ш50От	9,67	10,51	11,02

Примечание. Ш – твердые отходы АЦИ; От – гранитоидные отсеvy; Ц – портландцемент марки 500.

Содержание в портландцементе добавки принимали 10, 20, 30, 50%. Для изучения вяжущих свойств полученных смесей готовили на их основе цементные растворы в соотношении песок : сухая смесь 3 : 1. Водоцементное отношение принимали одинаковым для всех смесей – равным 0,4. Готовили по двенадцать кубиков каждого состава. Твердение их проводили по режиму: первые сутки в формах на воздухе, затем после распалубки в воде. Через 7, 14, 28 сут кубики извлекались из воды и испытывались на прочность при сжатии [4]. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

По полученным данным построены графики кинетики твердения образцов, которые показаны на рис. 1–6.

Как видно из полученных графических зависимостей, прочность образцов с течением времени твердения увеличивается. Гранитоидный отсев и отходы асбестоцементных изделий в первые трое суток ускоряют процесс твердения смесей, и прочность при этом возрастает по сравнению с контрольными образцами из портландцемента на 8–60%. Особенно высокие приросты прочности показывает состав комплексного вяжущего с содержанием 20% тонкомолотого гранитоидного отсева. Меньшее значение прироста прочности наблюдается при введении 50%-ной добавки микронаполнителей.

Обращает на себя внимание идентичность характера всех кинетических кривых комплексного вяжущего как с тонкомолотым гранитоидным отсеvom, так и с отходами асбестоцементных изделий и их смесями, причем набор прочности происходит в прямой зависимости от времени твердения.

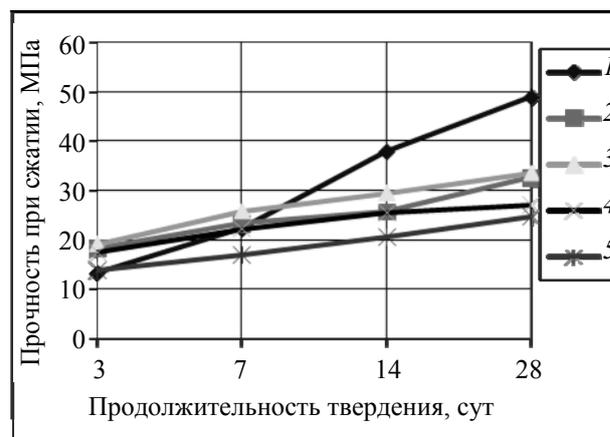


Рис. 1. Кинетика твердения портландцемента и комплексного вяжущего с добавкой гранитоидного отсева:
1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 10% От;
3 – ПЦ + 20% От;
4 – ПЦ + 30% От; 5 – ПЦ + 50% От

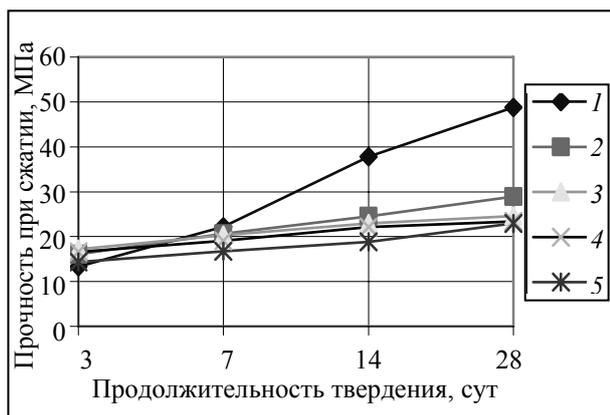


Рис. 2. Кинетика твердения портландцемента и комплексного вяжущего с добавкой твердых отходов асбестоцементных изделий:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 10% АЦИ; 3 – ПЦ + 20% АЦИ;
 4 – ПЦ + 30% АЦИ; 5 – ПЦ + 50% АЦИ

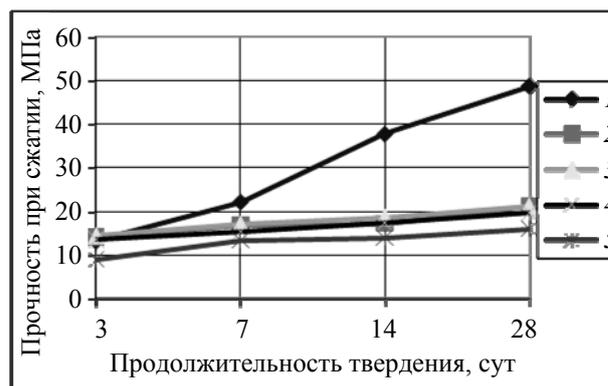


Рис. 5. Кинетика твердения ПЦ и комплексного вяжущего с добавкой смеси твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 30% АЦИ + 10% От; 3 – ПЦ + 30% АЦИ + 20% От; 4 – ПЦ + 30% АЦИ + 30% От;
 5 – ПЦ + 30% АЦИ + 50% От

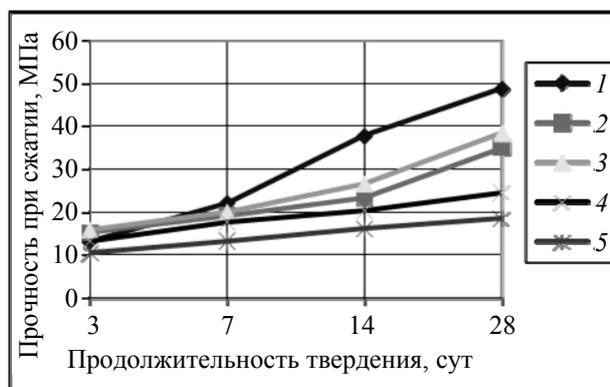


Рис. 3. Кинетика твердения ПЦ и комплексного вяжущего с добавкой смеси твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 50% АЦИ + 10% От; 3 – ПЦ + 50% АЦИ + 20% От; 4 – ПЦ + 50% АЦИ + 30% От;
 5 – ПЦ + 50% АЦИ + 50% От

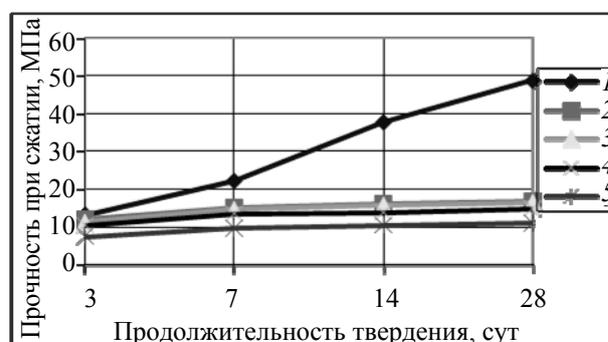


Рис. 6. Кинетика твердения ПЦ и комплексного вяжущего с добавкой смеси твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 50% АЦИ + 10% От; 3 – ПЦ + 50% АЦИ + 20% От; 4 – ПЦ + 50% АЦИ + 30% От;
 5 – ПЦ + 50% АЦИ + 50% От

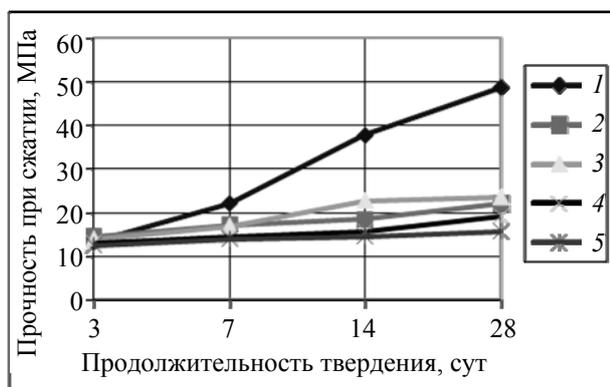


Рис. 4. Кинетика твердения ПЦ и комплексного вяжущего с добавкой смеси твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсеков:
 1 – ПЦ; 2 – ПЦ + 20% АЦИ + 10% От; 3 – ПЦ + 20% АЦИ + 20% От; 4 – ПЦ + 20% АЦИ + 30% От;
 5 – ПЦ + 20% АЦИ + 50% От

Установлено, что у всех образцов комплексного вяжущего возрастает время начала срока схватывания, что объясняется увеличением длительности индукционного периода, связанного с растворением частиц цемента и образованием насыщенных растворов. Однако наличие частиц микронаполнителя в дальнейшем интенсифицирует процесс кристаллизации гидратных фаз.

Согласно данным [5], микронаполнители не являются инертными добавками. Они принимают некоторое участие в формировании структуры цементного камня; раздвигают зерна гидратирующего цемента и тем самым ускоряют гидратацию. На их поверхности выделяются гидратные новообразования высокой степени дисперсности. Ускорение твердения комплексного вяжущего с выбранными добавками, по-видимому, обусловлено тем, что они выступают в качестве затравок кристаллизации гелеобразных продуктов гидратации портландцемента.

Через 7 сут твердения темп набора прочности цементного камня резко снижается.

Исходя из результатов экспериментального исследования влияния твердых отходов асбестоцементных изделий и гранитоидных отсевов на прочностные характеристики композиции при твердении и с учетом наличия отходов асбестоцементных изделий на ОАО «Красносельскстройматериалы», ПРУП «Кричевцементношифер» предложен следующий состав комплексного вяжущего для исследований цементогрунтов на его основе:

портландцемент ПЦ 500 Д0 – 70%;

твердые отходы АЦИ – 10%;

гранитоидные отсевы – 20%.

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики портландцемента и разработанного композиционного вяжущего.

Таблица 2

**Сравнительная характеристика
портландцемента и комплексного вяжущего**

Исследуемые свойства	Портланд-цемент	Комплексное вяжущее
Предел прочности при сжатии, МПа	48,79	38,37
Предел прочности при изгибе, МПа	7,67	6,14
Тонкость помола, %	8	11
Нормальная густота цементного теста, %	25	26,5
Равномерность изменения объема	Показывает	Показывает
Сроки схватывания, мин: начало конец	85 –	195 –
Консистенция цементного раствора (расплывание конуса), мм	106	108
Морозостойкость	0,96	0,85

По результатам проведенных исследований и сравнительных характеристиках комплексного вяжущего и портландцемента видно, что содержание в цементе микронаполнителей гранитоидных отсевов и твердых отходов асбестоцементных изделий в количестве до 30% дает марку цемента 400, увеличивает начало сроков схватывания с 1 ч 25 мин до 3 ч 15 мин, нормальная густота цементного теста увеличивается на 1,5%, без существенного изменения других свойств.

Рентгенофазовый анализ цементного камня, полученного на основе нового композиционного вяжущего, показывает, что в нем присутствуют все фазы, образующиеся при гидратации портландцемента, новых фаз не установлено. Они могут образовываться в малом количестве или иметь скрытокристаллическую структуру.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить следующее.

1. Изучены вяжущие свойства и кинетика твердения комплексного вяжущего с различным содержанием добавок микронаполнителей, в качестве которых использованы тонкомолотые гранитоидные отсевы и твердые отходы асбестоцементных изделий.

2. Разработана линейка составов комплексного вяжущего с использованием указанных микронаполнителей с вяжущими свойствами, позволяющими рекомендовать их для укрепления грунтов в дорожном строительстве, для которых предел прочности не должен быть меньше 6 МПа.

3. Изучены строительно-технические свойства комплексного вяжущего с добавками микронаполнителей в количестве 30%.

4. С использованием литературных данных дано объяснение характера твердения полученного комплексного вяжущего, у которого возрастает начало срока схватывания и темп набора прочности в начальный период твердения.

Проведенные исследования показали, что указанные отходы могут быть использованы для получения смешанных цементов и рекомендованы для дорожного строительства.

Такой цемент полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к цементам, используемым для укрепления грунтов в дорожном строительстве.

Совершенствование методов укрепления грунтов и разработка новых методов, использование более совершенных машин для производства работ по обработке грунта позволят в дальнейшем расширить диапазон применения укрепленных грунтов и повысить их значение в создании прочных дорожных одежд различного типа.

Литература

1. Дорожные основания и покрытия из укрепленных грунтов / В. М. Безрук [и др.]; под общ. ред. В. М. Безрука. – М.: Транспорт, 1966. – 126 с.
2. Безрук, В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве / В. М. Безрук. – М., 1971. – 280 с.
3. Кузьменков, М. И. Химическая технология вяжущих веществ: учеб. пособие для студентов специальности «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» / М. И. Кузьменков, О. Е. Хотянович. – Минск: БГТУ, 2008. – 276 с.
4. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности: ГОСТ 22733-2002. – Введ. 01.01.06. – Минск, 2006. – 20 с.
5. Теория цемента / А. А. Пашенко [и др.]; под общ. ред. А. А. Пашенко. – Киев: Будівельник, 1991. – 165 с.

Поступила 20.02.2013