

сти использования модели движения кольцевого червя для описания движения поезда. Достаточно существенно упрощённого аналога.

В качестве другого аналога можно использовать движение цепи по направляющей. Отличие таких моделей в том, что направляющая (железнодорожный путь) постоянно меняет свою конфигурацию, т. е. модели, описывающие цепную передачу, не пригодны. Более того, наличие собственной системы управления у поезда ставит его значительно ближе к «живым» объектам. В качестве ещё одного ограничения выступает путь. Если червь в любой момент времени может двигаться в произвольном направлении, при этом лишь незначительная часть пространства, занятая его телом, исключает достаточно малый сегмент направлений (нельзя двигаться внутрь себя), то поезд всегда движется по направляющей, размещение которой в пространстве жёстко регламентировано.

Предлагается при описании поезда представлять его как цепь переменной длины, обладающую системой управления режимами движения, следующую по направляющей, на которую наложены внешние ограничения переменного характера. Под последними понимаются воздействия систем тягового электроснабжения и диспетчерского управления, погодные условия, перемещения динамических объектов в пространстве габарита подвижного состава на пути следования поезда и др. Звенья цепи – вагоны.

Подбор сплайна не зависит от поведения поезда. Положения головной и хвостовых меток транспондера определяют привязку поезда к цифровой модели пути. С неё снимается, на каких элементах в плане и профиле находится состав поезда. Например, одна часть поезда проходит круговую кривую известного радиуса на спуске, другая находится на переходной кривой, расположенной на площадке, а третья часть находится на прямой и на подъёме. В таком случае сплайн будет содержать три функции – по одной для каждого из участков. Число сплайнов в модели определяет точность цифровой модели пути.

В цифровой модели путь описывается как линия, что соответствует пространственному размещению оси пути на уровне головок рельсов. Если следовать логике описания движения цепи по направляющей, то движение поезда должно описываться не одним сплайном, а целым семейством. В пространственной интерпретации это напоминает пучок нитей.

Поле исследования расчетной модели поезда достаточно широко. Его можно выполнять в рамках учебно-исследовательской работы (УИРС) или в научно-исследовательском кружке при кафедре с последующим докладом на студенческой научной конференции и использованием разработанных материалов в дипломном проектировании.

УДК 693.542.4

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*А. Ю. ДОРОШЕНКО*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

Основными направлениями технического прогресса в технологии бетонных работ является ускорение твердения бетона, повышения оборачиваемости форм и опалубки, уменьшение энергозатрат, повышение долговечности конструкций, уменьшения расхода цемента.

При использовании цементного бетона при строительстве дорог решается ряд вопросов, связанных с технологией бетонирования и эксплуатацией затвердевшего бетона. Среди них обеспечение заданной подвижности бетонной смеси, достаточной прочности бетона в ранние сроки твердения, марочной прочности на сжатие и изгиб и необходимых эксплуатационных показателей.

Повышения и улучшения основных физико-механических показателей цементного бетона можно достичь путем модификации цементного бетона за счет применения химических добавок при приготовлении цементно-бетонной смеси [1]. Использование химических добавок может быть не совсем целесообразным вследствие повышения стоимости цементного бетона. Поэтому становится

актуальным вопрос замены чистых химических продуктов некоторыми отходами промышленных производств. Применение отходов в дорожном строительстве может быть целесообразным при выполнении ряда условий. Имеется достаточное количество отходов для удовлетворения потребности при использовании в технологии производства цементного бетона; отходы не являются потенциально вредными при их применении во время изготовления бетона и во время его эксплуатации; дальность транспортировки отходов на бетонный завод незначительна.

В работе рассматриваются вопросы использования отходов глиноземного производства – красного шлама, который накапливается в шламбассейнах с химическим составом, мас. %:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 43,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 20,0;  $\text{SiO}_2$  – 12,42;  $\text{CaO}$  – 11,2;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 7,25;  $\text{TiO}_2$  – 5,34;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,24;  $\text{V}_2\text{O}_3$  – 0,23.

Химический анализ проб красного шлама показывает незначительные колебания как по количественному, так и по качественному составу, что объясняется постоянством технологии и сырьевой базы.

Предварительно обезвоженный до влажности 5–10 % красный шлам обрабатывался технической соляной кислотой (концентрация – 27,5 %) в соотношении 1:0,5...1:2,5 по весу. В результате экзотермической реакции температура смеси повышалась до 100–120 °С.

После охлаждения пульпа растворялась водой. В качестве добавки использовалась растворенная водой пульпа или раствор, полученный после отстоя пульпы.

Был проведен анализ химического состава водных солянокислотных выдержек, который показал, что солевая смесь состоит из 66 %  $\text{FeCl}_3$ ; 16 %  $\text{NaCl}$ ; 13 %  $\text{CaCl}_2$ ; 5 % ( $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{TiCl}_3$  и других). Установлено, что за счет кислотного взаимодействия количество водорастворимой соли повысилось в 31,3 раз (8,15 г на 100 мл жидкой фазы по сравнению с 0,25 г на 100 мл жидкой фазы без отдели кислоты).

Портландцемент является полиминеральным вяжущим, и однокомпонентные добавки хлоридов равно влияют на повышение свойств отдельных клинкерных минералов и цемента в целом. Наличие определенного комплекса ионов позволяет резко усилить эффект повышения прочности по сравнению с прочностью, полученной при использовании однокомпонентной добавки.

Действие многокомпонентной добавки проявляется как в начальный период структурообразования, так и при дальнейшем твердении и выражается в изменении кинетики растворения вяжущего, кинетики новообразования гидратных фаз, а также морфологии и прочности структуры. При лучших результатах по прочности при сжатии цементного камня с добавкой красного шлама по сравнению с однокомпонентными добавками ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ) установлено уменьшение водопотребности для получения теста нормальной густоты. Этот факт можно объяснить с коллоиднохимических позиций повышением конкурирующего влияния катионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , который уменьшает водопотребность, повышает сроки схватывания, ослабляет сильное коагулирующее действие трехзарядных катионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Al}^{3+}$ , в результате чего образуются условия для оптимального структурообразования цементного камня.

В работе исследовали влияние добавок на рост прочности при сжатии цементного камня с однокомпонентными добавками  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NaCl}$  и  $\text{FeCl}_3$ , которые есть в составе обработанного красного шлама, и продуктом кислотного распада шлама. Эффективность действия добавок оценивалась по прочности цементных образцов кубов с  $V/C = 0,33$ . Также определялись сроки схватывания и нормальная плотность цементного теста. Использовался Здолбуновский портландцемент М500.

Максимальная прочность при сжатии цементного камня с красным шламом выше по сравнению с другими однокомпонентными хлоридами. Установлено, что наиболее эффективной однокомпонентной добавкой является  $\text{AlCl}_3$ .

Одной из причин высокой эффективности добавки шлама является то, что в составе красного шлама находится 5–6 % алюмината натрия и окиси ванадия до 0,5 %, которые при воздействии соляной кислоты образуют активные хлориды, обеспечивающие быстрое наращивание прочности в ранние сроки твердения.

Эффективность разработанной добавки проверяли по ее влиянию на кинетику набора прочности цементного бетона, который твердел в нормальных условиях и имел следующий состав: цемент Здолбуновский М400 – 320 кг; песок – 730 кг ( $M_{кр} = 1,47$ ) щебень гранитный Малинского карьера двух фракций 5...10 мм – 390 кг и 10...20 мм – 760 кг. Водоцементное соотношение – 0,5. Добавка

вводилась в виде пульпы или раствора в количестве 2,8 % от веса цемента в пересчете на безводное вещество.

Параллельно готовились образцы бетона, в которые вводились в качестве добавок необработанный красный шлам (2 % от веса цемента) и 27%-й концентрации HCl в количестве 0,5 г моль/л.

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние добавки – продукта соляно-кислотного распада красного шлама на рост прочности бетона

Добавка	Прочность при сжатии, МПа через				
	1 час	1 сутки	3 суток	7 суток	28 суток
Без добавки	0,27	5,04	10,38	14,60	19,56
Пульпа	1,46	9,82	18,76	23,40	26,60
Раствор	1,37	10,21	18,90	22,90	27,05
Необработанный красный шлам	–	5,35	–	–	19,50
HCl	–	6,17	–	–	21,86

Из данных, приведенных в таблице 1, видно, что добавка обработанного соляной кислотой красного шлама позволяет повысить прочность при сжатии через 1 сутки – в 1,9 раза; через 3 суток – в 1,8 раза; через 7 суток – в 1,6 раза; через 28 суток – в 1,37 раза.

Таким образом, применение обработанного соляной кислотой красного шлама в качестве добавки позволит:

- существенно усилить и углубить эффект за счет наличия комплекса различных катионов, действие которых проявляется на разных стадиях твердения;
- ускорить оборачиваемость форм и опалубки;
- экономить до 20 % цемента при сохранении проектной прочности бетона;
- получить бетон с ускоренным ростом прочности в начальный период твердения и без ее снижения в более поздние сроки;
- комплексно решать проблему сохранения окружающей среды;
- расширить ассортимент добавок – ускорителей твердения с существенным уменьшением стоимости (в 10 раз).

#### Список литературы

- 1 **Баженов, Ю. М.** Бетон с химическими добавками / Ю. М. Баженов. – М. : ЦМИПКС, 1987. – 59 с.

УДК 625.9

### АНАЛИЗ УСТАНОВЛЕННЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ НА НАПРАВЛЕНИИ ГОМЕЛЬ – МИНСК

*Т. А. ДУБРОВСКАЯ, А. И. СТРИЖАК, С. С. ГАПОНИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В условиях расширения международного сотрудничества и углубления интеграционных процессов формированию международных транспортных коридоров принадлежит ведущая роль в решении транспортных проблем, связанных с обеспечением межгосударственных экономических и иных связей, с целесообразностью создания международной транспортной инфраструктуры.

Общий уровень динамического воздействия подвижного состава на путь при всех прочих равных условиях зависит от величины осевых нагрузок и скоростей движения поездов. Последние оказывают весьма существенное влияние на работу пути и, в частности, на его стабильность и напряженное состояние. Однако работа пути за длительный период времени, накопление в нем остаточных деформаций и возникновение различных повреждений усталостного характера зависят не только от уровня динамического воздействия, но и в еще большей мере от количества таких воздействий за определенный отрезок времени, иначе говоря, – от грузонапряженности.