которых учитываются как статические, так и динамические нагрузки, материал грунтовой насыпи и природные геологические и гидрогеологические условия.

Значительная стоимость отводимой земли обусловливает необходимость разработать оптимальные конструкции высоких насыпей, которые занимают меньшую площадь и обеспечивают требуемую устойчивость конструкции.

С уменьшением высоты насыпи увеличивается значение коэффициента устойчивости, превышающее нормативные требования. Наиболее оптимальная конструкция насыпи имеет равную устойчивость на всю проектируемую длину. В этом случае рационально сохранять ширину подошвы насыпи, постепенно вводя в конструкцию насыпи габионные подпорные стенки разной высоты.

Библиографический список

1. **СП 14.13330.2011.** Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7–81*. Минрегион России. – М. : ОАО «ЦПП», 2011. – 113 с.

2. **СП 32.104–98.** Свод правил. Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. – М. : Госстрой РФ, 1999. – 22 с.

3. **Железнодорожный путь** : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Г. М. Шахунянц. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.

УДК 691.32

Т. М. Петрова, А. П. Лейкин, А. В. Полетаев, Ю. А. Сорвачева, К. В. Гуляев, Э. Ю. Чистяков
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ

Приведен сравнительный анализ новой редакции ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» с предшествующей версией стандарта 1987 г. Показаны основные достоинства и недостатки действующего нормативного документа, выявлен ряд приборов неразрушающего контроля, не удовлетворяющих требованиям по базе прозвучивания. Представлены результаты исследования кинетики трещинообразования опытного участка безбалластной конструкции верхнего строения пути на территории Российской Федерации с использованием ультразвукового метода контроля.

неразрушающие методы контроля, ультразвуковой метод, прочность, бетон, железобетон, безбалластная конструкция, верхнее строение пути.

Введение

В настоящее время значительно вырос уровень производства приборов неразрушающего контроля, что объяснятся широкой областью их применения: контроль прочности бетона и качества бетонирования, дефектоскопия, оценка глубины трещинообразования и т. д. [1].

Основные параметры, оцениваемые неразрушающими методами контроля в бетоноведении, – прочность, толщина защитного слоя, влажность, водонепроницаемость, морозостойкость и др. [2]. Известны несколько методов оценки прочности бетонных и железобетонных изделий и конструкций: испытания стандартных образцов; испытания кернов, выбуренных из конструкции; неразрушающего контроля. Особенности последних заключаются в измерении какого-либо физического показателя, связанного с искомым значением прочности, установленной корреляционной зависимостью.

В связи с принятием в 2012 г. новой редакции ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности», вступившей в силу с 1 января 2014 г. взамен давно утратившей свою актуальность редакции 1987 г., изменились требования к приборам и методам контроля прочности бетона ультразвуковым методом [3].

Цель данной работы – исследовать кинетику и выявить потенциальные причины трещинообразования на опытном участке безбалластной конструкции верхнего строения пути неразрушающими методами контроля.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

• провести сравнительный анализ старой и новой редакции межгосударственного стандарта по ультразвуковому методу контролю прочности бетона;

• выявить основные особенности и требования к приборам неразрушающего контроля;

• исследовать кинетику трещинообразования безбалластной конструкции верхнего строения пути с использованием ультразвукового метода контроля.

1 Новые требования к ультразвуковым приборам

Обновленная версия стандарта разработана в соответствии с требованиями международных нормативных документов в области измерений, испытаний и контроля и с учетом современного уровня развития науки и техники. Главные положительные отличия новой редакции ГОСТ 17624-2012:

• впервые определена допустимая прочность бетона классов В60 (т. е. прочностью до 75 МПа);

• впервые разрешено определять прочность бетона в монолитных конструкциях поверхностным способом прозвучивания;

• установлен способ построения градуировочных зависимостей не только по контрольным образцам, но и по результатам испытания методом отрыва со скалыванием;

• четко разграничены оценки класса бетона по результатам испытаний ультразвуковым методом по ГОСТ 18105-2010 (схемы В и Г) [4].

Хотя документ хорошо проработан, следует отметить и его недостатки. Согласно п. 5.4 ГОСТ 17624-2012, база прозвучивания прибора неразрушающего контроля должна быть не менее 120 мм и не более 200 мм, однако давно выпускаются и успешно работают приборы с базой прозвучивания 100 мм. Возникает вопрос о возможности использования таких приборов, как, например, «Бетон-22» и «Бетон-32» (рис. 1).

Рис. 1. Бетон-32 с базой прозвучивания 100 мм

Однако в ряде исследований установлено, что погрешность результатов измерения ультразвуковым методом непосредственно зависит от базы прозвучивания (рис. 2) [5].

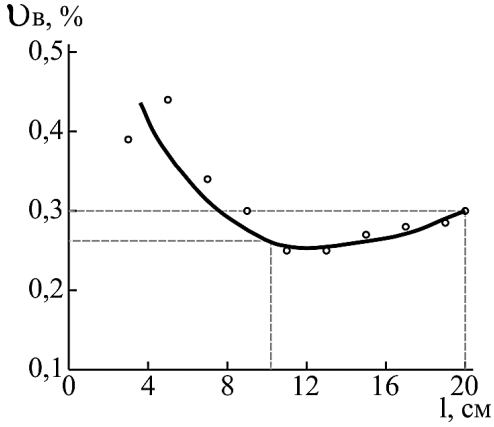

Рис. 2. Зависимость коэффициента вариации многократных измерений времени прохождения ультразвука от базы прозвучивания

На основе приведенного графика можно сделать вывод, что установленная ГОСТом база прозвучивания 20 см имеет больший коэффициент вариации, чем запрещенная – 10 см, что свидетельствует о неоднозначности установленных требований к приборам неразрушающего контроля.

2 Использование ультразвуковых приборов для оценки глубины трещин на примере опытного участка безбалластной конструкции верхнего строения пути на территории Российской Федерации

Новая редакция межгосударственного стандарта ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» не регламентирует правила и методы контроля трещинообразования бетонных и железобетонных конструкций, несмотря на то, что развитие ширины и глубины трещин оказывает значительное влияние на эксплуатационные характеристики и долговечность сооружения и требует постоянного мониторинга.

На примере опытного участка безбалластной конструкции пути с использованием ультразвуковых методов неразрушающего контроля исследовано трещинообразование.

Монолитное железнодорожное полотно типа RHEDA 2000 впервые было применено в 1999 г. в Германии в рамках пилотного проекта на магистрали длиной около 1000 м Эрфурт – Халле – Лейпциг. Положительный опыт при проектировании, строительстве и эксплуатации опытного участка в Германии позволил руководству немецких железных дорог принять решение об использовании более 180 тыс. запатентованных двухблочных шпал при строительстве высокоскоростной магистрали Кельн – Франкфурт – Рейн – Майн [6].

На территории Российской Федерации данная конструкция впервые появилась осенью 2010 г. Ее эксплуатация в течение первого года показала, что путь по всем показателям имеет стабильные характеристики [7]. Вместе с тем были выявлены многочисленные трещины на поверхности конструкции, развивающиеся от углов полушпал к центру и к торцу плиты (рис. 3).

Рис. 3. Трещины на поверхности опытного участка безбалластной конструкции верхнего строения пути

Экспериментальный участок безбалластной конструкции верхнего строения пути расположен на насыпи из песков средней крупности, а в основании земляного полотна залегают легкие пылеватые суглинки. Железобетонные шпалы немецкого производства с эпюрой укладки 1840 шт./км замоноличены в арми-

рованную несущую бетонную плиту класса В40 толщиной 240 мм. Несущая бетонная плита опирается на гидравлически связанный несущий бетонный слой толщиной 300 мм класса В15, под которым уложен защитный слой из щебеночно-песчано-гравийной смеси толщиной 40 см.

В рамках данного исследования методом поверхностного прозвучивания датчиками сухого акустического контакта ультразвукового прибора УК 1401 проведен анализ глубины распространения трещин в железобетонной конструкции по методике РД 153-34.1-21.326-2001 «Железобетонные и бетонные конструкции».

В рамках данной методики измеряли скорость ультразвукового сигнала при наличии и в отсутствие трещины, глубину трещин определяли по разнице времени прохождения данных сигналов.

Результаты определения глубины распространения трещин на примере одного из пикетов представлены в таблице.

Глубина трещин превышает толщину защитного слоя в 25 мм, что приводит к началу коррозии арматурного каркаса и к снижению прочностных характеристик железобетонной конструкции.

Для определения динамики ширины раскрытия трещин и исключения влияния динамической нагрузки на кинетику трещинообразования использовали прибор ТЕРЕМ-4 с датчиками перемещения точностью до 0,001 мм,

Глубина распространения трещин на опытном участке безбалластной конструкции верхнего строения пути на примере ПК1

Номер трещины	Глубина трещин, мм
1	27
2	30
3	25
4	30
5	34

температуры и влажности, которые были установлены на 10 пикетах на время испытаний (4 ч). За это время по опытному участку пути прошло более 20 поездов.

Результаты исследования кинетики ширины раскрытия трещин на одном из пикетов представлены на рис. 4.

Суммарная ширина раскрытия трещин за период испытаний достигала значений 0,4–0,6 мм, при этом верхняя граница превышала допустимое значение 0,5 мм.

Глубина раскрытия трещин, превышающая толщину бетонной несущей плиты, в которую замоноличены шпалы, а также значительное изменение ширины раскрытия трещин (от 0,001 до 0,06 мм) в течение эксперимента могут способствовать проникновению влаги в тело конструкции и привести к коррозии арматурного каркаса.

Для проведения ремонтных работ важно правильно выбрать инъекционные материа-

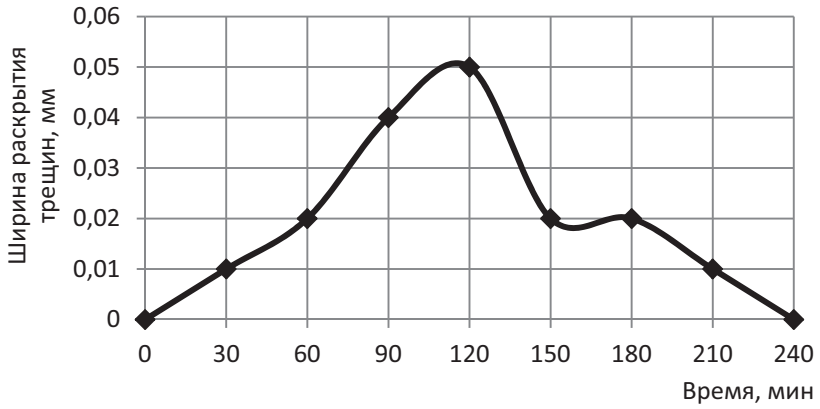

Рис. 4. Изменения ширины раскрытия трещин во времени

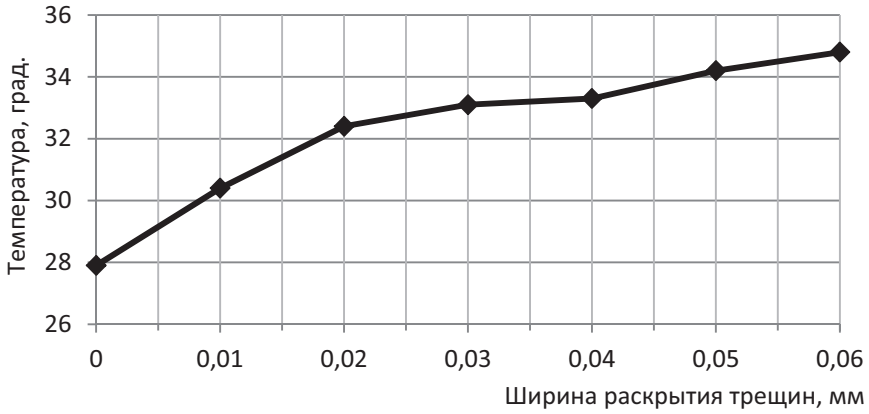

Рис. 5. Зависимость ширины раскрытия трещин от температуры

лы в зависимости от подвижности трещин. Раскрытие трещин может быть вызвано краткосрочной причиной (нагрузкой от движения транспорта), ежедневной (нагреванием солнечными лучами) и длительной (сменой сезонов).

Во время испытаний резких изменений в ширине раскрытия трещин после прохождения поездов не обнаружено. Была высказана гипотеза о зависимости ширины раскрытия трещин исследуемой конструкции от температуры (рис. 5).

Заключение

Введение новой редакции межгосударственного стандарта по оценке прочности бетона ультразвуковым методом впервые позволило контролировать качество конструкций, изготовленных из высокопрочных бетонов класса до В60.

В густоармированных подрельсовых конструкциях необходимо предварительно рассчитывать предельно допустимую ширину раскрытия трещин, при этом учитывать подвижность трещин и выявлять длительность воздействующих причин.

Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций позволили установить наличие трещин с суммарной шириной раскрытия более 0,8 мм и с глубиной более 30 мм, что превышает толщину защитного слоя арматурного каркаса и способствуют прониканию влаги и коррозии арматуры. При испытаниях на всем участке безбалластной конструкции пути выявлено, что трещины являются подвижными, изменение ширины их раскрытия в большей степени зависит от погодных условий, это необходимо учитывать при ремонтных работах.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам аккредитованных испытательных центров «Прочность» и «Прочность-серт» кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Библиографический список

1. **Неразрушающие** методы контроля прочности бетона / Ж. В. Бербеков // Молодой ученый. – 2012. – № 11. – С. 20–23.

2. **Методика** и техника для контроля прочности бетонов и других искусственных каменных материалов / Д. А. Чихунов // Строительная инженерия. – 2005. – № 2. – С. 13–16.

3. **ГОСТ 17624-2012.** Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. – М. : Стандартинформ, 2014. – 19 с.

4. **ГОСТ 18105-2010.** Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М. : Стандартинформ, 2013. – 20 с.

5. **Применение** ультразвуковых преобразователей с точечным контактом для неразрушающего контроля / В. В. Дзенис ; Риж. политехнич. ин-т им. А. Я. Пельше. – Рига : Зинатне, 1987. – 263 с.

6. **Michas G.** Slab track system for High Speed railways / Royal Inst. Technol. (KTH). – Sweden, Stockholm, 2012. – 107 p.

7. **Проблемы** эксплуатации безбалластной конструкции верхнего строения пути RHEDA 2000 на железнодорожной магистрали / А. Ф. Колос, Т. М. Петрова, А. А. Сидоренко // Техника железных дорог. – 2013. – № 2 (22). – С. 42–47.

УДК 629.423.31

Р. И. Прошутинский, О. В. Колодкин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ВЕНТИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ В ТЯГОВОМ ПРИВОДЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Рассмотрены вентильные тяговые двигатели и их применение на отечественном и зарубежном опытном и серийном электрическом подвижном составе магистральных железных дорог. Выделены характерные особенности электромеханических преобразователей электроэнергии существующих вентильных тяговых двигателей. Описаны принципиальные схемы полупроводниковых преобразователей. Исходя из опыта проектирования и эксплуатации вентильных тяговых двигателей, предложена возможная область их применения на отечественных железных дорогах на современном этапе.

вентильный тяговый двигатель, электромеханический преобразователь энергии, контактное электромагнитное возбуждение, полупроводниковый преобразователь, однооперационный тиристор, электровоз.

Введение

В настоящее время за рубежом эксплуатируется электрический подвижной состав (ЭПС) с вентильными тяговыми двигателями (ВТД).

Вентильный тяговый двигатель включает в себя электромеханический преобразователь энергии (ЭМП) и полупроводниковый преобразователь, переключающий фазы статорной обмотки тягового электродвигателя (ТЭД) в зависимости от углового положения ротора.

В статье рассматриваются существующие на данный момент ВТД, выделяются ключевые особенности их ЭМП и преобразователей, а также предлагается область их применения на отечественных железных дорогах в настоящее время.

1 Мировой опыт применения ВТД на ЭПС

В трех странах (СССР/России, Франции и Японии) работы над ВТД были доведены до построения опытных образцов ЭПС. Серийно ЭПС с ВТД производился только во Франции.