

ваются при свободных и вынужденных колебаниях консервативных и неконсервативных систем. Погрешность линейного решения определяется количеством сообщенной системе энергии и, как следствие, степенью нелинейности системы.

2 Разные законы деформирования материала по-разному сказываются на поведении конструкции при колебаниях вызванных сообщением системе начальной потенциальной и кинетической энергии.

3 Полученные точные решения уравнений нелинейных колебаний с использованием специальных математических функций и обозначенные области устойчивого решения могут быть весьма полезны при анализе результатов численных расчетов, что весьма актуально в условиях возможной неустойчивости и чувствительности решений нелинейных задач к начальным условиям.

4 Применение нелинейных уравнений в задаче определения безопасного уровня начальных условий по критериям прочности несколько усложнило задачу определения решения, однако существенно уточнило решения, полученные в рамках линейной теории.

Все предложенные алгоритмы основаны на физически понятных, адекватных закономерностях без привлечения (где это возможно) аппарата метода КЭ и других численных методов. Задачи решаются энергетическими методами.

Полученные решения могут быть использованы и учтены при проектировании новых конструкций, а также для оценки динамических параметров и технического состояния существующих строительных конструкций зданий и сооружений.

УДК 624.21.095.4(047)

ОЦЕНКА ДЕФЕКТОВ И РАЗРУШЕНИЙ НА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ БЕЛУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ВЫБОРОМ РЕМОНТНОГО МАТЕРИАЛА

П. Ю. ЭТИН

Белорусский государственный университет транспорта

Работы по оценке дефектов на искусственных сооружениях Белорусской железной дороги выполняются дистанциями пути, мостоиспытательной станцией или иной специализированной организацией, имеющей соответствующую лицензию. Материалы обследований должны содержать данные, позволяющие выполнить проект ремонта. Сюда, в первую очередь, входят: оценка степени агрессивности среды эксплуатации по отношению к материалам конструкций; определение глубины разрушений бетона или каменной кладки (размера от проектного положения поверхности конструкции до границы неослабленного материала); определение потери площади сечения арматуры вследствие коррозии; оценка степени коррозии закладных деталей и анкеров; оценка состояний и прочности защитного слоя в целом.

Разработку технических решений ремонта, включая выбор ремонтного материала, осуществляет проектная организация на основе материалов обследования сооружения.

При выборе ремонтного материала следует учитывать: степень целостности и потери несущей способности элементов конструкций; глубину разрушений; условия эксплуатации (температурный режим, влажность и агрессивность среды, динамические воздействия); эстетические требования; расположение и ремонтнодоступность конструкции; объем подлежащих выполнению работ.

В ходе разработки технических решений ремонта следует ориентироваться на современные материалы и технологии, обеспечивающие, при условии правильного выбора, продление срока службы конструкций до 30-40 лет.

Основные положения выбора материала для ремонта:

- если толщина ремонтируемого слоя несущих конструкций не превышает 10 см, следует применять бетоны из специальных сухих смесей. Бетоны и растворы, приготавливаемые на месте смешением инертных, цемента и воды, как для нового строительства, не обеспечивают требуемых для ремонта свойств: сочетания безусадочности и пластичности, повышенной прочности сцепления со «старым» бетоном, ускоренного набора прочности;

- бетоны из сухих смесей предпочтительны также в случаях небольших объемов работ и недоступности места их проведения для самосвалов и миксеров;

- при толщине ремонтного слоя несущих конструкций свыше 10 см следует либо использовать специальные бетоны с добавлением щебня (до 40 % по массе), либо бетоны, приготавливаемые на месте смешением инертных со специальным цементом, обеспечивающим безусадочность и быстрый набор прочности. Ремонт массивных опор допускается выполнять, используя бетоны на портландцементе, не являющимся безусадочным;

- если ремонту подлежат вертикальные, потолочные и наклонные поверхности, проект ремонта может предусматривать применение тиксотропных бетонов из сухих смесей или наливных. Тиксотропные бетоны

наносят набрызгом насосом или вручную при минимальных (до 5 %) потерях (набрызг не требует высоких давлений, используемых при торкретировании);

– при значительной, свыше 10 %, потере площади сечения арматуры вследствие коррозии оптимальными ремонтными составами служат специальные фибробетоны, изготавливаемые из сухих смесей. Благодаря высокой прочности на растяжение они компенсируют снижение несущей способности арматуры.

В настоящее время при выполнении ремонтных работ особую популярность получили современные специальные бетоны из сухих смесей ЭМАКО (EMACO): наливные бетоны EMACO® S66 (максимальная крупность заполнителя – 10 мм) и EMACO® S88 (максимальная крупность заполнителя – 3 мм), а также тиксотропный бетон EMACO® S88 C (максимальная крупность заполнителя – 3 мм).

УДК 539.3

ИЗГИБ КРУГОВЫХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН С ЖЕСТКИМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

А. В. ЯРОВАЯ

Белорусский государственный университет транспорта

Трехслойные пластины состоят из двух тонких несущих слоев и сравнительно толстого заполнителя. Если материал заполнителя достаточно жесткий, то необходимо учитывать работу касательных напряжений в тангенциальном направлении. Это приводит к усложнению системы дифференциальных уравнений равновесия по сравнению с моделью легкого заполнителя и необходимости разрабатывать новые итерационные методы решения.

Рассмотрена несимметричная по толщине круглая трехслойная пластина с жестким заполнителем под действием распределенной поверхностной нагрузки $q(r)$, лежащая на упругом основании Винклера. Постановка и решение задачи проведено в цилиндрической системе координат r, φ, z . Считается, что материалы несущих слоев пластины могут проявлять упругопластические свойства. Заполнитель ведет себя нелинейно упруго. Для описания нелинейных свойств материалов использованы соотношения теории малых упругопластических деформаций Ильюшина.

С помощью вариационного принципа Лагранжа получена система нелинейных дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях

$$L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r}) = p_\omega, \quad L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w_{,r}) - 2cG_3 \psi = h_\omega, \quad L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r}) - \kappa_0 w = -q_0 + q_\omega.$$

Здесь $w(r)$ – прогиб, $\psi(r)$ – относительный сдвиг в заполнителе, $u(r)$ – радиальное перемещение срединной плоскости заполнителя, κ_0 – коэффициент постели. В правой части уравнений собраны нелинейные составляющие с индексом « ω », учитывающие нелинейные свойства материалов слоев.

Для решения системы уравнений равновесия разработаны комбинации итерационных методов. Первый итерационный метод основан на приближении к упругому решению по жесткости основания, а затем для упругопластической задачи используется метод упругих решений. В этом случае слагаемое $\kappa_0 w$ включается в нелинейные добавки с индексом « ω », которые на первом шаге полагаются равными нулю, а в дальнейшем вычисляются по результатам предыдущего приближения. Таким образом, на каждом шаге решается линейная задача с известными дополнительными «внешними» нагрузками. На первом шаге – это задача об изгибе упругой круговой трехслойной пластины с жестким заполнителем, не связанной с упругим основанием. Второй итерационный метод основан на приближении к искомому решению по жесткости заполнителя, а затем для упругопластической задачи используется метод упругих решений. В этом случае слагаемое $2cG_3 \psi$ из второго уравнения системы уравнений включается в нелинейные добавки. На каждом шаге приближения решается линейная задача для круговой трехслойной пластины с легким заполнителем на упругом основании.

С помощью двух указанных модификаций итерационных методов получены аналитические решения в итерациях, причем первое справедливо для пластины на основании малой и средней жесткости, второе – средней и высокой жесткости. Константы интегрирования выписаны для трех видов граничных условий.

Проведен численный параметрический анализ перемещений, напряжений и деформаций в зависимости от граничных условий, геометрических параметров несущих слоев и заполнителя, особенностей деформирования материалов, жесткости упругого основания, интенсивности нагрузки.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект Ф07М–039).