

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).