

формы поперечными сечениями балки, дает противоположный результат.

Заметим, что максимальные первые главные напряжения соответствуют напряжениям образования первых трещин в железобетоне. Таким образом, полученный результат позволяет выработать рекомендации по обеспечению прочности железобетонных конструкций путем изменения расположения упрочняющей арматуры в бетонной матрице.

УДК 624.04

КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАК ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Н. С. ЦЕТЬКО
БелНИИС

В отечественной и зарубежной литературе имеется значительное количество публикаций по нелинейной динамике строительных конструкций, посвященных вопросам геометрической нелинейности протяженных и гибких конструкций, а также по статическим расчетам всех видов строительных конструкций с учетом нелинейного характера деформирования материала. Каждый из этих подходов признан единственно возможным для корректного описания процесса деформирования конструкции и определения требуемых в рамках этих расчетов параметров. Эти же идеи в настоящее время реализованы во всех современных расчетных программных комплексах.

Вопросы учета физической нелинейности материала в расчетах на динамику (сейсмику, пульсации ветра, действие машин и механизмов) до настоящего времени не нашли должного отражения ни в теоретических исследованиях, ни в практике проектирования. Это отчасти можно объяснить сравнительной сложностью задач динамики и тем разнообразием возможных проявлений нелинейных эффектов, которые имеют место при решении нелинейных уравнений движения. Подготовка и реализация численных алгоритмов решения задач нелинейной динамики также представляет собой более трудоемкий и ресурсоемкий процесс по сравнению со статикой и линейной динамикой. Однако все материалы несущих строительных конструкций в той или иной степени нелинейны, и пренебрежение этим фактом в задачах динамики сооружений может привести к ошибкам как качественного, так и количественного характера.

В рамках выполненных автором исследований по физически-нелинейной динамике балочных элементов строительных конструкций решены следующие задачи:

- получены точные формулы для периода и амплитуды колебаний простых балок с одной степенью свободы из физически нелинейного материала, движение которых описывается уравнением Дюффинга;
- определено значение количества начальной энергии, необходимого для существования устойчивых колебаний;
- построены графики начальных условий, определяющих область устойчивых нелинейных колебаний балок с одной степенью свободы с различными опорными закреплениями для характерных конструктивных материалов;
- построен алгоритм решения задачи о свободных и вынужденных нелинейных колебаниях балок с различными опорными закреплениями с одной степенью свободы с учетом и без учета сил сопротивления;
- получено решение задачи о физически нелинейных колебаниях свободно опертой балки с одной степенью свободы при учете поправки на сдвиг и инерцию вращения, определено выражение для частоты свободных нелинейных колебаний модели балки Тимошенко;
- показаны два способа выражения потенциальной энергии изгиба системы: через определенный интеграл по объему тела от деформации и через зависимость «момент – кривизна»;
- предложен метод решения задачи о нелинейных колебаниях балок с различными опорными закреплениями с несколькими степенями свободы;
- решены задачи о свободных колебаниях балки с бесконечным числом степеней свободы при различных граничных условиях в нелинейной постановке;
- обозначен алгоритм уточненного исследования нелинейных колебаний железобетонных балок с учетом трещинообразования и несимметричной жесткости;
- выведены уравнения, определяющие границы безопасных начальных условий по критериям трещиностойкости и прочности (по I и II группам предельных состояний) для колебаний железобетонных балок в линейной и нелинейной постановках.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1 Применение нелинейных зависимостей ведет к изменению поведения балок под нагрузкой, изменению периода и амплитуды колебаний по сравнению с линейным решением. Обозначенные изменения прослежи-

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 БЕЛОРУССКОЙ 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