

ВЛИЯНИЕ КРИТЕРИЯ ОСТАНОВКИ МЕТОДА НЬЮТОНА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ОБОЛОЧЕК

Н. А. МИШУРЕНКО

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Российская Федерация*

Оболочечные конструкции получили широкое распространение в различных отраслях промышленности ввиду разнообразия геометрических форм [1–3], используемых при изготовлении данных конструкций, материалов и т. д. [4–6]. В связи с этим важной задачей является развитие методов расчета данных конструкций [7–9].

В статье [10] авторами предложен вычислительный алгоритм для расчета НДС и устойчивости тонкостенных оболочек, построенный на применении комбинации численных методов: метода Рунге для сведения вариационной задачи о поиске минимума функционала к решению системы нелинейных алгебраических уравнений; метода Ньютона для решения полученной системы.

В качестве критерия остановки итерационного процесса в методе Ньютона принята норма абсолютной разности между текущей и предыдущей итерацией [10]:

$$\|\tilde{X}_n^m - \tilde{X}_n^{m-1}\| \leq \varepsilon, \quad (1)$$

где \tilde{X}_n^m и \tilde{X}_n^{m-1} – векторы значений числовых параметров метода Рунге на текущей и предыдущей итерации в методе Ньютона; $\|\cdot\|$ – норма вектора; ε – точность метода Ньютона; n – номер итерации по нагрузке; m – номер итерации в методе Ньютона.

К достоинствам данного подхода можно отнести простоту вычисления, однако оценка разности не дает гарантии получения истинного решения.

Модификацией критерия (1) является относительная норма разности решений между текущей и предыдущей итерацией [11]:

$$\frac{\|\tilde{X}_n^m - \tilde{X}_n^{m-1}\|}{\|\tilde{X}_n^m\|} \leq \varepsilon. \quad (2)$$

Здесь обозначения переменных те же, что и в (1).

Вышеописанные условия остановки численного метода относятся к критериям, основанным на изменении решения. Также следует отметить группу критериев, основанных на вычислении невязки решения: абсолютная и относительная невязка. Общий подход по составлению условия остановки численного метода при вычислении невязки аналогичен определению разности.

Очевидным критерием остановки численных методов является введение максимального количества итераций для решения исследуемой задачи. Таким образом, получается избежать бесконечного решения задачи и внести корректировки в алгоритм для обеспечения его вычислительной эффективности.

Нередко при формировании вычислительных алгоритмов используют комбинации критериев остановки численного решения. Однако следует отметить, что в зависимости от исследуемой задачи, используемых численных методов и пр. наилучшая комбинация данных критериев может меняться.

Список литературы

1 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойной круговой цилиндрической оболочки в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Д. В. Тарлаковский // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2016. – № 1. – С. 91–97. – EDN: VQBYST.

2 Параметрические колебания подземного и надземного нефтепровода / И. О. Разов, В. Г. Соколов, А. В. Дмитриев, А. В. Березнев // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 3 (105). – С. 48–60. – DOI: 10.31660/2782-232X-2023-3-48-60. – EDN: SKCLDB.

3 Кузнецова, В. О. К вопросу учета кинетики наводороживания на предельное состояние сферических оболочек из титанового сплава / В. О. Кузнецова // Строительные конструкции, здания и сооружения. – 2024. – № 2 (7). – С. 4–14. – EDN: SZJYCD.

4 Пшеничников, С. Г. Нестационарные волновые процессы в цилиндре из функционально-градиентного вязкоупругого материала / С. Г. Пшеничников // Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика. – 2024. – № 2. – С. 37–44. – DOI: 10.55959/MSU0579-9368-1-65-2-5. – EDN: AAPONG.

5 **Трещев, А. А.** О механических испытаниях тонкостенных цилиндрических оболочек из композитных материалов / А. А. Трещев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 90–97. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-7-90-91. – EDN: ANDSZH.

6 **Петров, В. В.** Расчет неоднородных по толщине оболочек с учётом физической и геометрической нелинейностей / В. В. Петров // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. – № 1. – С. 112–117. – EDN: VNRSEV.

7 **Каюмов, Р. А.** Большие прогибы, потеря устойчивости и закритическое поведение пологих панелей и арок переменной толщины на упругом основании / Р. А. Каюмов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2024. – № 2. – С. 33–41. – DOI: 10.15593/perm.mech/2024.2.04. – EDN: KFDQBX.

8 **Карпов, В. В.** Прочность и устойчивость подкреплённых оболочек вращения : в 2 ч. Ч. 1. Модели и алгоритмы исследования прочности и устойчивости подкреплённых оболочек вращения / В. В. Карпов. – М. : Физматлит, 2010. – 288 с. – EDN: UIRNWJ.

9 **Тумашик, Г. А.** Исследование статической и динамической прочности цилиндрической оболочки, контактирующей с круговой диафрагмой / Г. А. Тумашик, А. И. Фрумен // Вестник Московского авиационного института. – 2012. – Т. 19, № 5. – С. 192–196. – EDN: PIGEEH.

10 **Мишуренко, Н. А.** Вычислительный алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния и устойчивости тонкостенных оболочек / Н. А. Мишуренко, А. А. Семенов // Вестник МГСУ. – 2025. – Т. 20, № 6. – С. 850–866. – DOI: 10.22227/1997-0935.2025.6.850-866. – EDN: JBQTRI.

11 **Самарский, А. А.** Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М. : Наука, 1989. – 432 с.

УДК 69.059.4

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М. М. ПЕНЯЗЬ, О. Е. ПАНТЮХОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность проблемы повышения долговечности строительных конструкций обусловлена возрастающими требованиями к качеству и надёжности зданий и сооружений в Республике Беларусь. Современные условия эксплуатации предполагают значительную нагрузку на конструкции, обусловленную суровыми климатическими условиями, высокой степенью антропогенного воздействия и высокими стандартами безопасной эксплуатации. Поэтому возникает необходимость комплексного подхода к решению вопросов долговечности, направленного на внедрение инновационных материалов и технологий, позволяющих существенно увеличить срок службы конструкций и снизить затраты на ремонт и восстановление.

Характеристика инновационных материалов для повышения долговечности. Развитие науки и техники открывает новые горизонты для разработки инновационных материалов, способных существенно увеличить срок службы строительных конструкций. Рассмотрим наиболее важные категории таких материалов, доказавшие свою эффективность в условиях Республики Беларусь.

Углеволоконные композитные материалы. Углеволоконные композиты представляют собой уникальный класс материалов, состоящих из сверхпрочного углеволокна и смолы, образующей прочный каркас. Например, во время реставрации моста через реку Нёман использовалась углеволоконная сетка, установленная поверх старого железобетона, что повысило прочность конструкции почти вдвое.

Цементные композиции с микроармированием. Особый интерес представляют цементные композиции, обогащённые мелкими фракциями стекловолокна, арамидных нитей или полипропиленового волокна. Микроармирование позволяет существенно повысить устойчивость к растягивающим усилиям, предотвратить образование микротрещин и защитить бетон от агрессивных воздействий окружающей среды. Например, при строительстве торгового центра в Гомеле была использована система микрофибры, введённая в бетонную смесь, что сократило количество необходимых инъекций раствора и восстановлений.

Полимерные композиты и плёнкообразователи. Эта группа материалов представлена различными полимерными композициями, наносимыми в жидком состоянии на поверхность конструкций. Широкий ассортимент полимерных композиций позволяет подобрать оптимальное решение для любых видов строительных конструкций, будь то сталь, алюминий, бетон или дерево. Например, покрытия из полиуретана и полиамида наносятся на стальные трубы трубопроводов, предназначенные для подачи питьевой воды, предотвращая возникновение коррозии и обеспечивая бесперебойную подачу чистой воды населению.