

1) Научные школы:

«Развитие и реализация численного метода конечных элементов для анализа напряженно-деформированного состояния инженерных сооружений сложной формы»

Суть разработки.

Создание библиотеки конечных элементов различных конфигураций в смешанной формулировке метода конечных элементов (МКЭ) и формулировке метода перемещений для определения напряжений и деформаций в инженерных сооружениях в линейной постановке и при учете геометрической и физической нелинейностей. Для этой цели разработаны следующие конечные элементы.

1. Конечный элемент с матрицей деформирования размером 20×20 для расчета прочности плоско-нагруженных конструкций.

2. Конечный элемент с матрицей деформирования размером 24×24 для расчета прочности осесимметрично нагруженных оболочек вращения.

3. Конечный элемент с матрицей деформирования размером 72×72 для расчета прочности произвольно нагруженных оболочек вращения.

4. Шестигранный конечный элемент для расчета любых инженерных сооружений.

Разработаны математические модели высокоточных конечных элементов треугольной формы с корректирующими множителями Лагранжа на основе векторного способа интерполяции полей перемещений.

Разработаны математические модели высокоточных конечных элементов четырехугольной формы с различным числом узловых варьируемых параметров на основе векторного способа интерполяции перемещений.

Разработаны корректные кинематические и статические условия сопряжения пересекающихся оболочек и оболочек вращения с ветвящимся меридианом с учетом пластической стадии работы применяемого материала.

Область применения научной разработки.

Расчет прочности конструкций и сооружений различных отраслей народного хозяйства.

Стадия разработки.

Алгоритмы формирования матриц деформирования конечных элементов представлен в виде программных пакетов, предназначенных для использования в программных разработках для расчета показателей прочности оболочек вращения инженерных конструкций и сооружений различного назначения.

Ключевые конкурентные преимущества потребительская ценность.

В настоящее время МКЭ заложен в основу известных программных комплексов для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений.

Использование векторной аппроксимации полей перемещений и тензорной аппроксимации полей напряжений в смешанной формулировке МКЭ позволяет решить общеизвестную проблему метода конечных элементов: выполнить в общем виде учет смещения конечного элемента как твердого тела.

Созданные на базе треугольного конечного элемента с корректирующими множителями Лагранжа вычислительные алгоритмы и пакеты прикладных программ позволили многократно повысить точность конечно-элементных решений оболочечных конструкций при использовании в качестве элементов дискретизации треугольного фрагмента срединной поверхности.

Созданные на базе четырехугольных конечных элементов с векторной интерполяцией перемещений вычислительные алгоритмы позволили с высокой точностью определить напряженно-деформированное состояние оболочечных конструкций, имеющих значительные градиенты кривизн срединной поверхности или имеющих возможность смещаться как жесткие тела под воздействием заданной нагрузки.

Таким образом, использование разработанных конечных элементов позволяет проектировать экономически наиболее выгодные конструкции с обеспечением необходимой прочности, надежности в эксплуатации без дополнительных затрат на ремонт.

Научное учреждение.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»

Разработчики.

Руководители: профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», д.т.н. Николаев А.П., зав.кафедрой «Высшая математика», д.т.н., профессор Клочков Ю.В.

Исполнители: Киселев А.П., Гуреева Н.А., Юшкин В.Н., Джабраилов А.Ш., Вахнина О.В., Иванова О.А., Киселева Р.З., Арьков Д.П., Шубович А.А., Леонтьева В.В., Киселева Т.А., Ищанов Т.Р., Андреев А.С., Кривенцова Д.П.

Контактные данные разработчиков.

400002, г.Волгоград, пр-т Университетский, 26

Электронный адрес: anpetr40@yandex.ru

2) План научно исследовательской деятельности:

1) Разработать на основе инновационной инвариантной аппроксимации полей перемещений алгоритмы формирования матриц жесткостей

высокоточных конечных элементов различной конфигурации в двумерной постановке.

2) Разработать алгоритмы расчета сочленённых оболочечных конструкций с различными физико-механическими свойствами применяемого материала на основе высокоточных конечных элементов с инновационной инвариантной аппроксимацией полей перемещений.

3) Разработать алгоритмы расчета тонких оболочек в двумерной постановке с учетом деформации поперечного сдвига при использовании инновационной инвариантной аппроксимации полей перемещений.

4) Разработать алгоритм формирования матрицы жесткости объемного конечного элемента в виде треугольной призмы с корректирующими множителями Лагранжа.

5) Разработать пакеты прикладных программ по расчету на прочность тонких оболочек и массивных тел с использованием созданных инновационных программных продуктов.

3) Результаты научно исследовательской деятельности:

1) Разработаны алгоритмы формирования матриц жесткостей четырехугольного элемента дискретизации с различными наборами узловых варьируемых параметров на основе инновационной инвариантной аппроксимации полей перемещений.

2) Разработаны алгоритмы формирования матриц жесткостей треугольных элементов дискретизации с различными наборами узловых неизвестных на основе инновационной инвариантной аппроксимации полей перемещений в сочетании с корректирующими множителями Лагранжа.

3) Разработан алгоритм формирования матрицы жесткости четырехугольного конечного элемента для расчета тонких оболочек с учетом деформации поперечного сдвига.

4) Разработаны пакеты прикладных программ по расчету на прочность тонких оболочек сложной геометрии с учетом смещений оболочечных конструкций как жестких тел.

5) Выполнена государственная регистрация разработанных программных продуктов по расчету на прочность тонких оболочек в двумерной постановке.

6) По результатам выполненных научных исследований опубликовано несколько десятков статей в журналах перечня ВАК, а также в журналах, входящих в базу данных SCOPUS и Web of Science.

4) Мероприятия, проводимые в рамках научно-исследовательской деятельности:

1. Участие в весеннем конкурсе «Умник» в 2015 году на тему: «Разработка математической модели дискретизации тонкостенной сочленённой оболочечной конструкции из разнородных материалов».

2. Участие в осеннем конкурсе «Умник» в 2015 году на тему: «Разработка математических моделей дискретизации тонкостенных конструкций и массивных тел на основе дву- и трехмерных конечных элементов с инвариантной аппроксимацией искомых величин».

5) Перечень инновационных разработок:

1. Грант РФФИ по проекту № 15-41-02346 р_поволжье_а Модернизация и использование трехмерных конечных элементов в расчетах прочности инженерных конструкций агропромышленного комплекса

2. Грант РФФИ по проекту № 15-41-02125 р_поволжье_а «Разработка математических моделей для расчета на прочность тонкостенных конструкций, входящих в структуру строительных, машиностроительных, нефтехимических и водохозяйственных объектов Волгоградской области».

3. Грант РФФИ по проекту 16-31-00133 мол_а «Создание алгоритмов расчета тонкостенных оболочек сложной геометрии и их сопряжений при использовании инвариантной векторной аппроксимации полей перемещений».

6) Перечень научно-технических проектов:

1. Анализ напряженно-деформированного состояния оболочек вращения на основе треугольного конечного элемента при использовании множителей Лагранжа.

2. Совершенствование конечно-элементных алгоритмов расчета произвольных оболочек при различных вариантах интерполяционной процедуры.

3. Расчеты прочности конструкций агропромышленного комплекса из композиционных материалов на основе трехмерных конечных элементов.

4. Прочностной расчет гидротехнических сооружений на основе метода конечных элементов

7) Перечень собственных научных изданий четыре монографии:

1. Николаев А.П., Клочков Ю.В., Киселев А.П., Гуреева Н.А. Векторная интерполяция полей перемещений в конечно-элементных расчетах оболочек. Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ «Нива», 2012. – 264 с.

2. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Вахнина О.В., Анализ напряженно-деформированного состояния оболочек вращения на основе треугольного конечного элемента при использовании множителей Лагранжа. Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ «Нива», 2012. – 124 с.

3. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Шубович А.А., Анализ напряженно-деформированного состояния оболочек вращения в геометрически нелинейной постановке при различных вариантах интерполяции перемещений. Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ «Нива», 2013. – 152 с.

4. Николаев А.П., Киселев А.П., Гуреева Н.А., Киселева Р.З. Расчет композиционных инженерных конструкций на основе метода конечных элементов Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ «Нива», 2016. – 128 с.

8) Перечень изданных и принятых к публикации статей в изданиях, рекомендованных ВАК, по результатам научно-исследовательской деятельности:

1. Сравнение скалярной и векторной форм метода конечных элементов на примере эллиптического цилиндра Клочков Ю.В., Николаев А.П., Киселева Т.А. Математическое моделирование. 2016. Т. 28. № 1. С. 65-77.

2. Анализ напряженно-деформированного состояния фрагмента фюзеляжа в форме тонкой оболочки с использованием треугольного конечного элемента с множителями Лагранжа. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Вахнина О.В., Киселева Т.А. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2016. № 3. С. 20-26.

3. Расчет оболочки вращения на основе треугольного конечного элемента с множителями Лагранжа при вариативной аппроксимации перемещений. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Вахнина О.В. Проблемы машиностроения и надежности машин. 2016. № 1. С. 59-66.

4. Конечно-элементный анализ оболочек вращения при использовании высокоточного треугольного элемента дискретизации с корректирующими множителями Лагранжа. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Вахнина О.В. Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика. 2016. № 5. С. 59-63.

5. Инвариантная аппроксимация перемещений в МКЭ для учета смещения конечного элемента как твердого тела. Гуреева Н.А., Киселев А.П., Киселёва Р.З., Николаев А.П. Фундаментальные исследования. 2016. № 10-1. С. 37-41

6. Конечно-элементный анализ НДС оболочек вращения с учетом деформаций поперечного сдвига. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Ищанов Т.Р. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 5. С. 48-56.

7. Определение напряжений в оболочках вращения при наличии зон сочленения на основе треугольного конечного элемента с учетом упругопластического деформирования. Джабраилов А.Ш., Клочков Ю.В.,

Николаев А.П., Фомин С.Д. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2015. № 1. С. 8-13.

8. Определяющие соотношения для нелинейно упругих тел и их реализация в расчете осесимметрично нагруженных оболочек вращения на основе смешанного МКЭ. Гуреева Н.А., Клочков Ю.В., Николаев А.П. Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. 2015. Т. 157. № 2. С. 28-39.

9. Совершенствование расчетов тонких оболочек вращения на основе высокоточного треугольного конечного элемента дискретизации с корректирующими множителями Лагранжа. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Вахнина О.В. Вестник машиностроения. 2015. № 2. С. 33-36.

10. Сравнение скалярной и векторной форм метода конечных элементов на примере эллиптического цилиндра. Киселева Т.А., Клочков Ю.В., Николаев А.П. Журнал вычислительной математики и математической физики. 2015. Т. 55. № 3. С. 418.

11. Сравнительная оценка скалярной и векторной аппроксимаций искомым неизвестных в МКЭ при расчете произвольных оболочек. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Киселева Т.А. Проблемы машиностроения и надежности машин. 2015. № 2. С. 69-75.

12. Расчет НДС сочлененных оболочек при использовании метода конечных элементов. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Киселева Т.А., Марченко С.С. Главный механик. 2015. № 1. С. 49-54.

13. Сравнительный анализ скалярной и векторной форм аппроксимаций в МКЭ на примере соотношений В.В. Новожилова для эллиптического цилиндра. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Ищанов Т.Р. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 2. С. 51-58.

14. Расчет тонких оболочек на основе треугольного конечного элемента с корректирующими множителями Лагранжа. Клочков Ю.В., Вахнина О.В., Киселева Т.А. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 5. С. 55-59.

15. Математическая модель дискретизации цилиндра с эллиптическим днищем из разнородных материалов. Клочков Ю.В., Киселева Т.А., Вахнина О.В. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 6. С. 56-62.

16. О способах аппроксимации перемещений в МКЭ при расчете эллиптических цилиндров. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Ищанов Т.Р. Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 4 (261). С. 64-70.

17. Расчет осесимметрично нагруженной оболочки вращения с учетом геометрической нелинейности на основе смешанного МКЭ. Гуреева Н.А.,

Клочков Ю.В., Николаев А.П. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2014. № 3. С. 14-19.

18. Определяющие соотношения в криволинейной системе координат физически линейнодеформируемого тела в геометрически нелинейной постановке. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Гуреева Н.А. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 10. № 23 (150). С. 92-94.

19. Расчет геометрически нелинейных упругих оболочек вращения на основе инвариантной интерполяции перемещений в МКЭ. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Шубович А.А. Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 4 (255). С. 40-47.

20. Применение соотношений Новожилова В.В. к расчету тонкостенных конструкций АПК. Клочков Ю.В., Ищанов Т.Р. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 2 (34). С. 171-175.

21. Математическая модель упруго-пластического деформирования сочлененных оболочечных конструкций предприятий АПК. Клочков Ю.В., Джабраилов А.Ш., Маловичко Р.И. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4 (36). С. 184-189.

22. Создание математической модели в научных исследованиях как элемента технологии обучения в вузе (на примере задачи о динамике популяций с внутривидовой конкуренцией) Шубович А.А., Клочков Ю.В. Актуальные вопросы профессионального образования. 2014. Т. 12. № 15 (142). С. 75-77.

23. Расчет геометрически нелинейных оболочек вращения на основе МКЭ с векторной интерполяцией искомых величин. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Шубович А.А., Марченко С.С. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2013. № 4. С. 8-12.

24. Сопоставительный анализ расчета НДС сочлененных оболочек на основе МКЭ с векторной интерполяцией и комплекса ANSYS. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Марченко С.С., Киселева Т.А. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. Т. 8. № 15 (118). С. 81-84.

25. Расчет оснований и фундаментов на основе метода конечных элементов в смешанной формулировке с учетом физической нелинейности. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Гуреева Н.А. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 30. С. 87-94.

26. Напряженно-деформированное состояние эллиптического цилиндра с эллипсоидальным днищем из разнородных материалов на основе МКЭ. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Киселева Т.А. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2013. Т. 13. № 3. С. 65-70.
27. Конечно-элементный анализ осесимметрично нагруженных оболочек вращения с ветвящимся меридианом при упруго-пластическом деформировании. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Джабраилов А.Ш. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013. № 3 (3). С. 50-56.
28. Реализация смешанного функционала в МКЭ при тензорной аппроксимации искомых величин. Гуреева Н.А., Клочков Ю.В., Николаев А.П. Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 1 (246). С. 45-52.
29. Сравнение напряжений, вычисленных на основе скалярной и векторной интерполяций МКЭ в сочлененных оболочках из разнородных материалов. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Киселева Т.А. Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 5 (250). С. 70-76.

9) Перечень изданных и принятых к публикации статей в зарубежных изданиях по результатам научно-исследовательской деятельности:

1. Comparing scalar and vector forms of the finite element method by example of an elliptic cylinder. Klochkov Y.V., Nikolaev A.P., Kiseleva T.A. Mathematical Models and Computer Simulations. 2016. Т. 8. № 4. С. 462-470.
1. Analysis of stresses in branched shells of revolution with joint zones using triangular finite elements with allowance for elastoplastic deformation. Dzhabrailov A.S., Klochkov Y.V., Nikolaev A.P., Fomin S.D. Russian Aeronautics. 2015. Т. 58. № 1. С. 7-14.
2. Comparison of scalar and vector fem forms in the case of an elliptic cylinder. Kiseleva T.A., Klochkov Y.V., Nikolaev A.P. Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2015. Т. 55. № 3. С. 422-431.
3. A comparative evaluation of the scalar and vector approximations of sought quantities in the finite-element method of arbitrary shells. Klochkov Y.V., Nikolaev A.P., Kiseleva T.A. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. Т. 44. № 2. С. 166-172.
4. Analysis of a shell of revolution subjected to axisymmetric loading taking into account geometric nonlinearity on the basis of the mixed finite element method. Gureeva N.A., Klochkov Y.V., Nikolaev A.P. Russian Aeronautics. 2014. Т. 57. № 3. С. 232-239.
5. Analysis of geometrically nonlinear shells of revolution based on the finite element method with the vector interpolation of desired quantities. Klochkov

Yu.V., Nikolaev A.P., Shubovich A.A., Marchenko S.S. Russian Aeronautics. 2013. T. 56. № 4. С. 327-334.

10) Перечень патентов, полученных на разработки (российских):

1. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015618747 Программа вычисления напряжений оболочки типа эллиптического цилиндра при использовании треугольного конечного элемента с множителями Лагранжа и скалярной интерполяции.

Авторы: Клочков Ю.В., Вахнина О.В., Киселева Т.А..

2. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015618748 Программа дискретизации оболочки типа эллиптического цилиндра треугольными конечными элементами с множителями Лагранжа при использовании скалярной интерполяции.

Авторы: Клочков Ю.В., Вахнина О.В., Киселева Т.А..

3. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015618760 Программа формирования матрицы жесткости оболочки типа эллиптического цилиндра при использовании треугольного конечного элемента с множителями Лагранжа и скалярной интерполяции.

Авторы: Клочков Ю.В., Вахнина О.В., Киселева Т.А..

4. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014615443 Программа численного анализа НДС произвольно нагруженной цилиндрической оболочки в геометрически нелинейной постановке при скалярном варианте интерполяции перемещений.

Авторы: Клочков Ю.В., Николаев А.П., Шубович А.А..

5. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014615444 Программа численного анализа НДС осесимметрично нагруженной оболочки вращения в геометрически нелинейной постановке при векторном варианте интерполяции перемещений.

Авторы: Клочков Ю.В., Николаев А.П., Шубович А.А..

6. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015612345 Программа расчета эллиптического цилиндра при значительных кривизнах и смещениях как жесткого целого на основе четырехугольного конечного элемента с векторной аппроксимацией перемещений.

Авторы: Клочков Ю.В., Николаев А.П., Ищанов Т.Р.

7. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015612179 Программа формирования матрицы жесткости оболочки синусоидального типа при использовании треугольного конечного элемента с множителями Лагранжа.

Авторы: Клочков Ю.В., Николаев А.П., Вахнина О.В.

8. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015612180 Программа дискретизации оболочки синусоидального типа при использовании треугольного конечного элемента с множителями Лагранжа.

Авторы: Клочков Ю.В., Николаев А.П., Вахнина О.В.

9. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015612178 Программа вычисления напряжений цилиндрической оболочки при использовании треугольного конечного элемента с множителями Лагранжа.

Авторы: Клочков Ю.В., Николаев А.П., Вахнина О.В..

10. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015612276 Программа определения НДС эллиптического цилиндра на основе четырехугольного конечного элемента при использовании скалярного способа аппроксимации полей перемещений.

Авторы: Клочков Ю.В., Николаев А.П., Ищанов Т.Р.

11. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015613140 Программа численного анализа НДС произвольно нагруженной цилиндрической оболочки при векторной интерполяционной процедуре с учетом геометрической нелинейности.

Авторы: Клочков Ю.В., Николаев А.П., Шубович А.А.

12. . Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015618410 «Программа формирования матрицы жесткости осесимметрично нагруженной оболочки вращения при использовании кольцевого элемента и вычисление напряжений в заданных узлах».

Авторы: Николаев А.П., Киселев А.П., Гуреева Н.А., Киселева Р.З.

13. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2015618254 «Программа формирования матрицы жесткости произвольно нагруженной оболочки вращения при использовании шестигранного элемента и вычисление напряжений в заданных узлах».

Авторы: Николаев А.П., Киселев А.П., Гуреева Н.А., Киселева Р.З.