
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

SECTION OF SCIENTIFIC METHODOLOGY

Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 97–102.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (3): 97–102.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 539.3, 303

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-97-102

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГУМАНИТАРНОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ АДАптиРОВАННОГО МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Владимир Александрович Игнатьев¹, Александр Владимирович Игнатьев¹,
Светлана Евгеньевна Карпушова²

¹Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

²Себряковский филиал Волгоградского государственного технического
университета, Михайловка, Россия

Аннотация. Описывается обобщенный алгоритм прогнозирования напряженно-деформированного состояния гуманитарного объекта на основе адаптированного метода конечных элементов. Описываются критерии установления границ предельных воздействий и откликов на примерах из области социологии.

Ключевые слова: прогнозирование напряженно-деформированного состояния гуманитарного объекта, адаптированный метод конечных элементов, социологический объект как пример

Для цитирования: Игнатьев В.А., Игнатьев А.В., Карпушова С.Е. Алгоритм решения задачи прогнозирования напряженно-деформированного состояния гуманитарного объекта на основе адаптированного метода конечных элементов // Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 97–102. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-97-102.

Original article

ALGORITHM FOR SOLVING THE PROBLEM OF PREDICTING THE STRESS-STRAIN STATE OF A HUMANITARIAN OBJECT BASED ON THE ADAPTED FINITE ELEMENT METHOD

Vladimir A. Ignatyev¹, Alexander V. Ignatyev¹, Svetlana E. Karpushova²

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

²Sebryakovskiy Branch of Volgograd State Technical University, Mikhaylovka, Russia

Abstract. A generalized algorithm for predicting the stress-strain state of a humanitarian object based on an adapted finite element method is described. Criteria for

setting the limits of marginal impacts and responses are described using examples from the field of sociology.

Keywords: prediction of the stress-strain state of a humanitarian object, adapted finite element method, sociological object as an example

For citation: Ignatyev V.A., Ignatyev A.V., Karpushova S.E. Algorithm for solving the problem of predicting the stress-strain state of a humanitarian object based on the adapted finite element method. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (3): 97–102. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-97-102.

В предыдущей работе¹ было показано расширение содержания понятий-терминов метода конечных элементов (МКЭ) на область социологии, а также разработаны теоретические основы адаптированного МКЭ и реализующих его алгоритмов применительно к социкибернетическим (гуманитарным) объектам.

Цель данной статьи – дальнейшее развитие теоретических основ адаптированного МКЭ и реализующего его алгоритма применительно к гуманитарным объектам.

Поставлена задача подробного описания обобщенного алгоритма составления уравнений напряженно-деформированного состояния исследуемого объекта.

На сегодняшний день социальные опросы, проводимые организациями по вопросам общественного мнения, такими как ВЦИОМ и Левада-Центр, не связаны с прогнозированием напряженно-деформированного состояния гуманитарного объекта. Перенос идеи метода конечных элементов, применяемого в механике, на область гуманитарных наук дает возможность решать задачу прогнозирования. Исследования, проводимые ВЦИОМ и Левада-Центром, применяются в данной статье как один из этапов рассматриваемого далее общего алгоритма прогнозирования напряженно-деформированного состояния гуманитарного объекта на основе адаптированного метода конечных элементов.

Рассмотрим этот алгоритм более подробно. Он включает несколько этапов.

1. Представление исследуемого гуманитарного объекта в виде ансамбля конечных элементов (КЭ). Гуманитарный объект (мировое общество, государство, общество, профессиональное сообщество) может быть представлен следующими типами конечных элементов различных уровней:

КЭ 1-го уровня – человек;

КЭ 2-го уровня – профессиональное сообщество, например, научное или исследовательское;

КЭ 3-го уровня – регионы страны;

КЭ 4-го уровня – государство.

При этом следует отметить, что ни один из конечных элементов не будет обладать свойствами изотропии. Сами по себе конечные элементы, как правило, являются совокупностью «ячеек», так называемых КЭ более нижнего уровня (рис. 1), образующих тело объекта (исключение – КЭ 1-го уровня).

¹ См. Игнатъев В.А., Игнатъев А.В. Метод конечных элементов и возможность его применения в области гуманитарных наук // Изв. вузов. Строительство. 2021. № 10. С. 66–72.

В этом случае для того, чтобы количественные характеристики свойств конечного элемента были достаточно четко определенными, он должен быть представительным, т.е. состоять из достаточно большого числа ячеек.

2. Составление таблиц свойств КЭ, закладываемых в расчет. Для определения и дальнейшего описания свойств КЭ, представляющих гуманитарный объект, возможно применение данных социальных опросов и данных службы государственной статистики.

В случае если рассматривается объект типа профессионального сообщества, можно дополнительно использовать метод персонажей, широко известный в сфере IT-технологий [1], позволяющий уточнить обстоятельства, в которых существуют отдельные представители этого сообщества. Для конечного элемента, представляющего такой объект, могут быть приняты следующие количественные и качественные характеристики: возраст, уровень образования и уровень активности (физической, общественной).

3. Вычисление коэффициентов матрицы откликов для всех конечных элементов, ансамбля, представляющего гуманитарный объект. Как было отмечено в предыдущей статье¹, матрица откликов конечного элемента складывается из откликов на внешнее воздействие и откликов на внутреннее воздействие от единичных значений основных неизвестных.

К внешним воздействиям как на отдельный конечный элемент, так и на социокрибернетический объект в целом могут относиться следующие факторы:

- экономические (налоги, цены, инфляция, курс валют и т.д.);
- политические и геополитические, информационные войны;
- законодательные, в том числе конституционные;
- социальные (социальная политика государства);
- конфессиональные;
- изменение граничных условий существования объекта (сообщества).

Под граничными условиями (ограничениями) следует понимать такие параметры, для которых достижения предельных значений откликов можно считать катастрофическими, например, конституция; законы государственные и региональные; бюджетные и ресурсные условия; принятые международные акты.

Изменение в уровне и количестве ограничений также рассматривается как внешнее воздействие на объект или конечный элемент.

В этом случае откликами (уровнями откликов на воздействия, выраженных по экспертной весовой шкале) будут:

- изменение уровня благосостояния, социального неравенства;
- изменение уровней качества образования, науки, здравоохранения;
- патриотизм, доверие к власти;
- обороноспособность, конкурентоспособность страны;

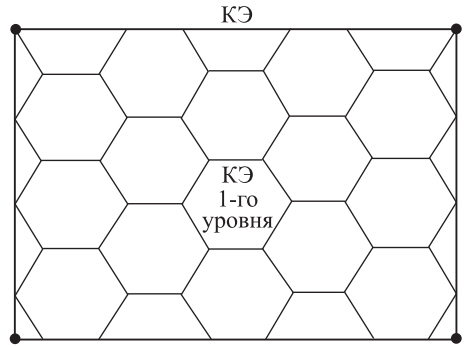


Рис. 1. Конечный элемент, представленный совокупностью КЭ 1-го уровня

Fig. 1. A finite element represented by a set of 1st-level CES

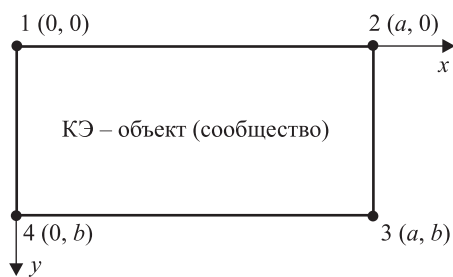


Рис. 2. Условно плоский КЭ – исследуемое сообщество с четырьмя видами воздействий в каждом из узлов

Fig. 2. Conventionally, a flat CE is a community under study with four types of impacts in each of the nodes

а) внутренние воздействия: q_1, q_2, q_3, q_4 – 1-го вида; q_5, q_6, q_7, q_8 – 2-го вида; $q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}$ – 3-го вида; $q_{13}, q_{14}, q_{15}, q_{16}$ – 4-го вида;

б) поля внешних воздействий различных видов: $p(x, y)$.

Предположим, что напряженно-деформированное состояние конечного элемента описывается следующими параметрами в каждом из его узлов:

- уровень материального благополучия;
- уровень удовлетворения духовных потребностей;
- уровень доступности начального образования;
- уровень здравоохранения.

Тогда узловыми воздействиями (основными неизвестными) будут изменения этих параметров.

Вычисление коэффициентов матрицы откликов возможно в нескольких вариантах.

Первый из них заключается в использовании данных социологического опроса для каждого узла конечного элемента и присвоении получаемым значениям коэффициентов матрицы откликов конечного элемента весовых множителей откликов на внешнее и внутреннее воздействие. В данном варианте эксперт оценивает важность параметра для всех узлов КЭ.

Например, обращаясь к узлу 0,0 конечного элемента можно присвоить каждому из этих четырех принятых параметров в узле КЭ свой экспертный множитель. В зависимости от уровня важности значение этого множителя принимается равным от 1 до 0,1 (см. таблицу).

Значения весовых множителей

Values of weight multipliers

Вид воздействия	Параметр	Весовые множители
q_1	Уровень материального благополучия	Заполняется экспертом
q_2	Уровень удовлетворения духовных потребностей	
q_3	Уровень доступности начального образования	
q_4	Уровень здравоохранения	

– рост экстремизма, терроризма и т.д.;

– социальная напряженность в обществе;

– межконфессиональные конфликты.

Рассмотрим варианты построения матрицы откликов условно плоского конечного элемента с четырьмя видами воздействий в каждом из узлов (рис. 2), используемых для моделирования исследуемого объекта.

Введем обозначения для видов воздействий от основных неизвестных в узлах 1–4 конечного элемента:

Во втором варианте данные социологического опроса применяются только для оценки параметров узла 0,0, а далее воздействие передается по билинейному или нелинейному закону.

Суть заключается в том, что для нахождения воздействия в узле 1,0 используются данные социологического опроса узла 0,0, важность которых определена экспертными оценками. В данном варианте эксперт оценивает важность параметра только для одного узла. Для перехода в другой узел используется тот же алгоритм. Однако при этом начало координат переносится в этот узел. Тогда результаты будут те же.

Например, для аналитического описания состояния конечного элемента от каждого из видов воздействий используем аппроксимирующую функцию в виде алгебраического степенного ряда с числом слагаемых, равным числу узлов КЭ (билинейного полинома):

$$F_1^{(i)}(x, y) = \alpha_1^{(i)} + \alpha_2^{(i)}x + \alpha_3^{(i)}y + \alpha_4^{(i)}xy \quad \text{для } i = \overline{1, 4},$$

$$F_2^{(i)}(x, y) = \alpha_5^{(i)} + \alpha_6^{(i)}x + \alpha_7^{(i)}y + \alpha_8^{(i)}xy \quad \text{для } i = \overline{5, 8},$$

$$F_3^{(i)} = \alpha_9^{(i)} + \alpha_{10}^{(i)}x + \alpha_{11}^{(i)}y + \alpha_{12}^{(i)}xy \quad \text{для } i = \overline{9, 12},$$

$$F_4^{(i)} = \alpha_{13}^{(i)} + \alpha_{14}^{(i)}x + \alpha_{15}^{(i)}y + \alpha_{16}^{(i)}xy \quad \text{для } i = \overline{13, 16}.$$

Коэффициенты этих полиномов, как и в классическом МКЭ, находятся из граничных условий.

Например, при воздействии $q_1 = 1$ имеем:

$$1) F_1^{(1)}(0, 0) = 1;$$

$$2) F_1^{(1)}(1, 0) = 0;$$

$$3) F_1^{(1)}(1, 1) = 0;$$

$$4) F_1^{(1)}(0, 1) = 0.$$

Решив эту систему уравнений, найдем коэффициенты: $\alpha_1^{(1)}, \alpha_2^{(1)}, \alpha_3^{(1)}, \alpha_4^{(1)}$ аппроксимирующей функции $F_1^{(1)}$.

$$F_1^{(1)}(x, y) = 1 - x - y + xy.$$

Аналогично могут быть найдены коэффициенты для всех остальных аппроксимирующих функций.

Определение коэффициентов матрицы откликов возможно также на основе энергетического функционала.

Так как каждый КЭ находится в состоянии равновесия, то для нахождения коэффициентов матрицы откликов КЭ в работах В.А. Игнатьева и А.В. Игнатьева [2–4] используется принцип возможных перемещений.

В данном случае конечного элемента – сообщества людей тоже используется этот принцип, который формулируется расширенно.

Сумма потенциальных энергий внешних и внутренних воздействий при любом бесконечно малом (или очень малом) возможном изменении напряженного состояния КЭ равна нулю.

4. Сопоставление результатов расчетов по двум вариантам.

5. Установление критических значений параметров воздействий на гуманитарный объект.

Критические значения устанавливаются на основе экспертного мнения.

Список источников

1. *Купер А., Рейман Р., Кронин Д., Носсел К.* Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия. 4-е изд. СПб.: Питер, 2016. 720 с.
2. *Игнатъев В.А., Игнатъев А.В.* Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики: Учеб. пособие. Волгоград: ВолгГАСУ, 2005. 100 с.
3. *Игнатъев В.А., Игнатъев А.В., Жиделев А.В.* Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики: Монография. Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. 176 с.
4. *Игнатъев А.В.* Развитие метода конечных элементов в форме классического смешанного метода строительной механики: Дис. ... д-ра техн. наук. Волгоград: ВолгГТУ, 2019. 294 с.

References

1. *Kuper A., Reyman R., Kronin D., Nossel K.* Interface. Fundamentals of interaction design. Saint Petersburg, 2016. 720 p. (In Russ.).
2. *Ignatyev V.A., Ignatyev A.V.* Mixed form of the finite element method in the problems of structural mechanics: Textbook. Volgograd: VolgGASU, 2005. 100 p. (In Russ.).
3. *Ignatyev V.A., Ignatyev A.V., Zhidelev A.V.* Mixed form of the finite element method in the problems of structural mechanics: Monograph. Volgograd: VolgGASU, 2006. 176 p. (In Russ.).
4. *Ignatyev A.V.* Development of the finite element method in the form of the classical mixed method of structural mechanics: Diss. ... DSc. Volgograd, 2019. 294 p. (In Russ.).

Информация об авторах

В.А. Игнатъев – доктор технических наук, профессор

А.В. Игнатъев – доктор технических наук, доцент

С.Е. Карпушова – кандидат социологических наук, доцент

Information about the authors

V.A. Ignatyev – DSc, Professor

A.V. Ignatyev – DSc, Ass. Professor

S.E. Karpushova – PhD, Ass. Professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.01.2022
Одобрена после рецензирования 21.02.2022
Принята к публикации 28.02.2022

The article was submitted 20.01.2022
Approved after reviewing 21.02.2022
Accepted for publication 28.02.2022