УДК 338.27, 517.977.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ТОНКИХ ПОДПОРНЫХ СТЕНОК

Шатохина С.И.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, e-mail: shatohina.sveta@rambler.ru

Проанализировав комплексы программных разработок в области строительства, было выявлено, что основной проблемой является расчет прочностных характеристик на ранних этапах моделирования строительных объектов. Так как рост социально-экономических, технических, экологических, эстетических и других требований усложняет как сами объекты, так и процессы моделирования. При этом ранние этапы проектных работ отличаются слабой структуризацией, размытостью постановки задачи оптимизации, интуитивным представлением проектировщика о путях ее решения. Многие оценки и ограничения, используемые специалистом в этих условиях, нечетки и часто лишены количественных характеристик. В силу неявной и часто неизвестной взаимозависимости проектных параметров (из-за большой размерности и качественного характера процессов) их значения обычно задаются человеком на основе опыта или инструкции.

Ключевые слова: метод конечных элементов, подпорные стенки, автоматизированная система

AUTOMATED SYSTEM FOR CALCULATING THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONSTRUCTION PROJECTS BY THE EXAMPLE OF THIN RETAINING WALLS

Shatokhina S.I.

Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shoukhov, Belgorod, e-mail: shatohina.sveta@rambler.ru

The complex of software development in the field of construction, it was revealed that the main problem is the calculation of the strength characteristics of the early stages of modeling of construction projects. Since the growth of socio-economic, technical, environmental, aesthetic and other requirements complicates both the objects themselves, and the modeling process. Thus the early stages of project works have weak structuring, blur setting optimization problem, intuitive representation of the designer on how to solve it. Many assessments and restrictions used by professionals in these conditions, and often vague lack of quantitative characteristics. By virtue of the implicit and often unknown interdependencies design parameters (due to the large dimension and qualitative processes), their values are usually given person on the basis of experience or instruction.

Keywords: finite element method, retaining walls, the automated system

Проанализировав комплексы программных разработок в области строительства, было выявлено, что основной проблемой является расчет прочностных характеристик на ранних этапах моделирования строительных объектов. Так как рост социально-экономических, технических, экологических, эстетических и других требований усложняет как сами объекты, так и процессы моделирования. При этом ранние этапы проектных работ отличаются слабой структуризацией, размытостью постановки задачи оптимизации, интуитивным представлением проектировщика о путях ее решения. Многие оценки и ограничения, используемые специалистом в этих условиях, нечетки и часто лишены количественных характеристик. В силу неявной и часто неизвестной взаимозависимости проектных параметров (из-за большой размерности и качественного характера процессов) их значения обычно задаются человеком на основе опыта или инструкции.

Поэтому необходимо разработать качественное решение для расчета прочностных характеристик строительных объектов, которое требует проведения многовариантной, комплексной проработки проектных альтернатив, в том числе с использованием математических средств с учетом многокритериальности оптимизационных задач и неопределенности знаний о характере целевых функций. Это усложняет процессы принятия решений. Нечеткость и противоречивость целей, стохастический характер параметров среды, техногенные воздействия также затрудняют процессы принятия решения.

Целью работы является создание автоматизированной системы совершенствования методов, алгоритмов и структуры системы моделирования тонких стенок и управление вектором оптимальных показателей качества.

Объектом исследования являются тонкие подпорные стенки. Предметом исследования являются методы, модели и алгоритмы улучшения качества оптимального моделирования.

Обзор иностранной и отечественной литературы

История развития оптимального моделирования строительных объектов насчитывает уже почти четыре века. Исследования в области оптимизации восходят к классической работе Г. Галилея (1638 г.), посвященной проектированию равнопрочных балок [6]. Им рассматривался случай изгиба консольной балки (прямоугольного поперечного сечения постоянной ширины и переменной высоты) под действием сосредоточенной силы, приложенной к свободному концу, и было показано, что условие равнопрочности выполняется, если высота сечения балки меняется по параболическому закону. Как оказалось впоследствии, задача о форме балки минимального веса при условии, что нормальные напряжения $c_{гх}$ не превосходят заданной величины a_0, сводится к задаче, решенной Г. Галилеем. Таким образом, равнопрочная консольная балка в то же время является балкой минимального веса.

Впоследствии было решено значительное число задач, относящихся к оптимизации балок при изгибе, кручении, учете собственного веса и других факторач [7, 8, 9, 10]. Несмотря на значительное количество работ, посвященных оптимизации балок, в большей части современных исследований по оптимальному проектированию используется модель балки. Это связано с тем, что уравнения изгиба балок являются одними из простейших и удобны для рассмотрения новых постановок задач, сравнения различных алгоритмов и методик.

К числу классических проблем оптимального проектирования можно отнести задачи отыскания форм сжатого стержня (колонны), обладающего минимальным весом и выдерживающего без потери устойчивости заданную нагрузку. Эта задача была поставлена Ж. Лагранжем [6], однако полученное им решение оказалось ошибочным. Впоследствии оптимальная форма упругого сжатого стержня была получена Т. Клаузеном [3] и уточнена Е. Николаи [10]. В последующих работах было проведено подробное исследовании данной задачи для различных типов стержней и условий закрепления.

В частности, было показано, что среди всех стержней выпуклого поперечного сечения оптимальным является стержень, сечение которого представляет собой равносторонний треугольник [1]. В проведенных исследованиях по данной проблематике [3] было показано, что при оптимизации достигается значительный эффект, и тем самым была обоснована перспектива дальнейших разработок в этом направлении. Вопросы оптимизации устойчивости упругих арок и круглых пластинок рассмотрены в [1, 2, 3], подпорных и причальных стенок в [6].

Постановка задачи

Указанные обстоятельства требуют активного участия человека в проектном процессе, что увеличивает в нем долю факторов субъективности и эвристик в формировании и принятии решений, а также отражается на целенаправленности и обоснованности реализуемых процессов. Накопление знаний об этих действиях и принятии решений в тех или иных условиях требуют применения новых интеллектуальных средств в проектных процессах. В таких условиях возрастает роль методологии моделирования подпорных стен как учения о структуре, логической организации, методах и средствах проектной деятельности, так как без разработки общей теории моделирования сложных систем и ее приложений к конкретным предметным областям, дальнейший прогресс в автоматизации моделирования невозможен.

Практически отсутствуют программно-информационные средства для решения задач на ранних стадиях моделирования, когда необходимо формировать облик сложенных объектов и решать слабо структурированные или нечетко определенные задачи по созданию и принятию эффективных проектных решений.

Полная формализация творческого процесса моделирования тонких подпорных стенок, конечно, возможна. Так как необходимы изучение и моделирование последовательности действий и приемов решения, проектных задач специалистов, особенно на ранних стадиях моделирования строительных объектов, а также использование опыта развития естественных сред.

В современной науке существует множество подходов для построения количественной математической модели любой системы. И одним из них принято считать метод конечных элементов, в основе которого лежит установление поведения дифференциального (бесконечно малого) ее элемента, базируясь на предполагаемом соотношении между основными элементами, которые способны дать полную характеристику этой системы.

Данный метод относится к методам дискретного анализа. Однако в отличие от численных методов, основывающихся на математической дискретизации дифференциальных уравнений, метод конечных элементов базируется на физической дискретизации рассматриваемого объекта.

Реальная конструкция – это сплошная среда с бесконечно многим числом степеней свободы заменяется дискретной моделью связанных между собой элементов с конечным числом степеней свободы. Так как число возможных дискретных моделей для континуальной области неограниченно велико, то основная задача заключается в том, чтобы выбрать такую модель, которая лучше всего аппроксимирует данную область.

Аппроксимация, как правило, дает приближенное, а не точное описание действительного распределения искомых величин в элементе. Поэтому результаты расчета конструкции в общем случае также являются приближенными.

Поэтому необходимо модифицировать данный метод в основе которого использовать генетические алгоритмы и нейронную сеть. Данный метод будет являться итерационным и выполняться до тех пор, пока не выполнится заданное число поколений или какой-либо иной критерий останова. Что позволяет достичь максимальной точности и сходимости результатов данного метода.

Описание исследования

Основная проблема МКЭ – построение сетки, особенно для объекта сложной геометрии. Создание трехмерных сеток конечных элементов обычно представляет собой трудоемкий и кропотливый процесс.

В результате проведенных исследований было доказано, что в классической интерпретации данный метод не позволяет качественно определить прочностные характеристики тонких подпорных стенок, т.к. неустойчивое решение является результатом неудачного выбора аппроксимирующих функций, «плохой» разбивки области на конечные элементы, некорректного представления граничных условий.

Данный подход в решении поставленной задачи позволяет аппроксимировать область задачи набором дискретных конечных элементов, которые были получены с помощью нейронной сети, такие как характеристики материала и граничные условия для каждого элемента.

Учитывая то, что в классическом методе конечных элементов необходимо было задать граничные условия, для разрешения уравнений, задать характеристики материала для каждого конечного элемента, из которого изготавливается объект исследования. После задания граничных условий и материала с помощью нейронной сети программа конечно-элементного анализа формирует систему уравнений, связывающую граничные условия с неизвестными, после чего решает эту систему относительно неизвестных.

После нахождения значений неизвестных пользователь получает возможность рассчитать значение любого параметра в любой точке любого конечного элемента по той же искомой функции, которая использовалась при построении системы уравнений.

Генетический алгоритм повторяет определенное количество раз процедуру модификации популяции (набора отдельных решений), добиваясь тем самым получения новых наборов решений (новых популяций). При этом на каждом шаге из популяции выбираются «родительские особи», то есть решения, совместная модификация которых (скрещивание) и приводит к формированию новой особи в следующем поколении.

Используя генетические алгоритмы в методе конечных элементов, мы добиваемся высоких показателей таких критериев, как устойчивость, сходимость и точность, которые определяются погрешностями различного рода операций, проводимых в методе конечных элементов. Так как основным недостатком метода конечных элементов является построение сетки конечных элементов и трудность получаемых результатов, учитывая, что модифицированный метод вызывается итерационно и выполняется определенное количество раз, данная проблема решается.

Ошибки дискретизации уменьшаются с увеличением числа конечных элементов, которые вычисляются на каждом новом шаге генетического алгоритма и соответственно с уменьшением их размеров, причем они стремятся к нулю, когда размер элемента стремится к нулю. Эти ошибки уменьшаются и с применением криволинейных элементов на соответствующих границах области. Ошибки аппроксимации не обязательно уменьшаются по мере уменьшения размеров элементов или повышения степени аппроксимации, поэтому при выполнении классического метода конечных элементов могут ухудшать сходимость к точному решению или даже приводить к расходимости.

Используя модифицированный метод конечных элементов – получаем общий метод оценки (универсальный и теоретически обоснованный) погрешности метода конечных элементов, а также точное решение в реальных задачах.

Заключение

Создан метод расчета прочностных характеристик, в котором была объединена нейронная модель сети с генетическими алгоритмами. Данный метод сочетает в себе как положительные особенности различных методов, так и автоматизацию выбора их па-

раметров Данная гибридная модель решает задачи с большей точностью, чем какая-либо отдельная модель, входящая в ее состав. Модель была исследована на множествах различных типов строительных объектов, что не раз доказывает большую значимость и огромную применимость в области строительного проектирования.

Список литературы

1. Абгарян К.А. К теории балок минимального веса // Расчеты на прочность. – М.: Машгиз, 1962. – Вып. 8. – С. 136–151.

2. Баничук Н.В. Минимизация веса крыла при ограничении по скорости дивергенции. – Учен. зап. ЦАГИ. – 1978. – Т.9, № 5. – С. 115–128.

3. Баничук Н.В. Оптимальное проектирование в одномерных задачах изгиба для фиксированных и подвижных нагрузок // Изв. АН СССР. МТТ. – 1974. – № 5. – С. 113–123.

4. Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И. и др.; Основания, фундаменты и подземные сооружения. // под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.

5. Иеги Э.М. Оптимальная конструкция и ее проектирование // Труды Таллиннского политехи, ин-та. – 1967. – № 257. – С. 63–85.

6. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен. – М.: Высшая школа, 1964. – 196 с.

7. Орлова И.В. Экономико-математическое моделирование: Практическое пособие по решению задач. – М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 140 с.

8. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. 2007.

9. Савиных В.Н. Математическое моделирование производственного и финансового менеджмента: учебное пособие. – М.: КноРус, 2013. – 192 с.

10. Стренг Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фиш. – М.: Мир, 1977. – 349 с.

References

1. Abgarjan K.A. K teorii balok minimalnogo vesa // Raschety na prochnost. M.: Mashgiz, 1962. Vyp. 8. pp. 136–151.

2. Banichuk N.V. Minimizacija vesa kryla pri ogranichenii po skorosti divergencii. Uchen. zap. CAGI. 1978. T.9, no. 5. pp. 115–128.

3. Banichuk N.V. Optimalnoe proektirovanie v odnomernyh zadachah izgiba dlja fiksirovannyh i podvizhnyh nagruzok // Izv. AN SSSR. MTT. 1974. no. 5. pp. 113–123.

4. Gorbunov-Posadov M.I., Ilichev V.A., Krutov V.I. i dr.; Osnovanija, fundamenty i podzemnye sooruzhenija. // pod obshh. red. E.A. Sorochana i Ju.G. Trofimenkova. M.: Strojizdat, 1985. 480 p.

5. Iegi Je.M. Optimalnaja konstrukcija i ee proektirovanie // Trudy Tallinnskogo politehi, in-ta. 1967. no. 257. pp. 63–85.

6. Klejn G.K. Raschet podpornyh sten. M.: Vysshaja shkola, 1964. 196 p.

7. Orlova I.V. Jekonomiko-matematicheskoe modelirovanie: Prakticheskoe posobie po resheniju zadach. M.: Vuzovskij uchebnik, NIC INFRA-M, 2013. 140 p.

8. Pervozvanskij A.A. Matematicheskie modeli v upravlenii proizvodstvom. 2007.

9. Savinyh V.N. Matematicheskoe modelirovanie proizvodstvennogo i finansovogo menedzhmenta: uchebnoe posobie. M.: KnoRus, 2013. 192 p.

10. Streng G. Teorija metoda konechnyh jelementov / G. Streng, Dzh. Fish. M.: Mir, 1977. 349 p.

Рецензенты:

Лозовая С.Ю., д.т.н., профессор, кафедра механического оборудования, Институт технологического оборудования и машиностроения, г. Белгород;

Евтушенко Е.И., д.т.н., профессор, проректор по научной работе, ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород.