

Применение нейронных сетей при расчете конструкций.

На сегодняшний день нейросетевые технологии получают все более широкое применение в технике. Однако использование нейронных сетей в области строительства недостаточно развито. Применение аппроксимирующих нейронных сетей позволит вычислять напряженно-деформированное состояние элементов конструкции при значительно меньших затратах вычислительных ресурсов, чем при использовании распространенных универсальных методов, например метода конечных элементов. На сегодняшний день нейронные сети применяются для расчета отдельно взятых элементов строительных конструкций. В данной работе рассмотрено их применения для расчета напряженно-деформированного состояния конструкции, состоящей из множества элементов.

С развитием вычислительной техники стало возможным производить расчет сложных конструкций на все более доступных мощных компьютерах, но даже сегодняшних вычислительных мощностей недостаточно для решения более сложных задач, связанных с синтезом строительных конструкций. Поскольку при синтезе систем чаще всего применяются эволюционные методы, которые для формирования нового поколения вариантов решений производят оценку каждого варианта из предыдущего поколения, а таких поколений необходимо сотни и более, то синтез строительных конструкций требует больших затрат вычислительных ресурсов вследствие того, что каждая оценка представляет собой расчет конструкции. Самым распространенным методом расчета строительных конструкций является метод конечных элементов ввиду его универсальности и высокой точности. Вместе с тем он требует больших вычислительных ресурсов. Проблема их сокращения при анализе конструкции является актуальной, и ее решение значительно повысит скорость решения задач синтеза строительных конструкций.

Основной идеей предлагаемого метода расчета является использование нейронных сетей для определения внутренних сил и перемещений элементов модели, которые представляют собой более крупные блоки по сравнению с конечными элементами. Элементы модели выбираются по их функциональному назначению. Например, пластина предназначена для принятия силы распределенной по площади, стержень – для принятия силы, распределенной на отрезке. Можно также рассматривать элементы с позиций преобразователей сил. Например, пластина служит для рассредоточения/сосредоточения сил и горизонтального/вертикального их переноса.

С функциональным назначением ассоциируется шаблон. В качестве шаблона принимают композицию элементов модели, предназначенную для реализации некоторого функционального назначения. Один шаблон может реализовывать несколько функциональных назначений. Функциональное назначение элементов модели вводится с целью облегчения и сокращения поиска вариантов при синтезе конструкций. Например, если при расчете модели выявлена перегрузка несущей опоры, то для устранения ее необходимо подобрать шаблон, обладающий функциональным свойством вертикального переноса силы (опора, стена, вантовые системы и пр.) и удовлетворяющий конкретным параметрам. Ограничивая, таким образом, количество участвующих в поиске элементов в базе данных, мы уменьшаем пространство поиска решений и, следовательно, снижаем потребление вычислительных ресурсов.

Предлагаемый метод расчета конструкций, как и МКЭ, должен иметь собственную базу компонентов. Последние представляют собой достаточно крупные части модели с определенным функциональным назначением. Их использование дает ощутимый выигрыш в производительности счетной работы, но вместе с тем мы идем на некоторое огрубление модели. В МКЭ точность расчета зависит от количества элементов, составляющих модель. Применение аппроксимирующих свойств нейронных сетей позволит установить нелинейные зависимости между перемещениями узлов компонента и

укрупнить компоненты модели без существенной потери точности. Применение более крупных, специализированных компонентов снижает их универсальность, и, соответственно, требуются более обширные базы элементов, чем для МКЭ. Для формирования такой базы данных потребуется большое количество вычислений, необходимых для построения нейронных сетей элементов, но в то же время не нужны

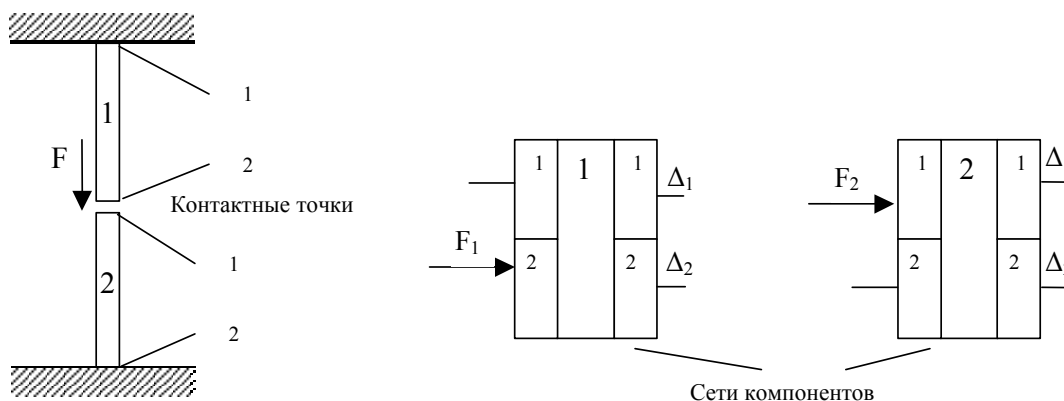


Рис. 1. Пример нейронной сети конструкции

аналитические процессы, присущие методу конечных элементов. Компоненты базы данных могут представлять собой как простые элементы (плита, балка), так и сложные (ферма). Нейронная сеть компонента представляет собой многослойную сеть, на входы которой подаются величины сил, моментов и перемещений для каждой из контактных точек компонента. Результатом применения сети являются значения напряжений и перемещений для каждой контактной точки. Перемещения задаются относительно начальных координат контактных точек, когда действие сил на компонент равно нулю.

Пример конструкции и соответствующей сети представлен на рис. 1. Для компонентов, не изменяющих собственных свойств, нейронная сеть может не содержать обратных связей. Нейронная сеть компонента, приведенного на рис.1, содержит 2 группы входов и выходов, каждая из которых соответствует одной контактной точке. Группа входов состоит из сил и моментов ($F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$), группа выходов соответствует перемещениям ($\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$). Процесс функционирования данной модели следующий. Поскольку в точке действия силы F присутствует 2 компонента, принимаем $F_1=F_2=F/2$. Далее производятся вычисления перемещений для каждого элемента:

$$\Delta_1=N_1(F_1),$$

$$\Delta_2=N_2(F_2),$$

где Δ_1 - перемещение 2-й контактной точки первого элемента, Δ_2 - перемещение 1-й контактной точки второго элемента.

Вычисление возможно, поскольку одна из контактных точек каждого из компонентов неподвижна. В противном случае вычисление компонента откладывается до тех пор, пока не станут известными перемещения в стольких контактных точках, сколько необходимо для определения статически определимого состояния компонента.

Если Δ_1 и Δ_2 равны, то достигнуто искомое состояние. Иначе необходимо корректировать F_1 и F_2 и произвести новый цикл расчетов. От способа перераспределения сил зависит количество итераций, необходимых для расчета.

Определим величину изменения Δf , на которую будут изменены F_1 и F_2 соответственно. Пусть $\Delta_1 > \Delta_2$, тогда

$$\begin{aligned}
 F_1' &= F_1 - \Delta f, \\
 F_2' &= F_2 + \Delta f, \\
 F_1' + F_2' &= F_1 + F_2 = F.
 \end{aligned}$$

Обозначив Δ_1' и Δ_2' перемещения, предполагаемые на следующем шаге вычислений, запишем:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1' &= \Delta f \cdot N_1'(F_1) + \Delta_1, \\
 \Delta_2' &= \Delta f \cdot N_2'(F_2) + \Delta_2.
 \end{aligned}$$

Предположим, нам удастся найти такую величину Δf , при которой новые перемещения Δ_1' и Δ_2' совпадут:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1' &= \Delta_2', \\
 \Delta f \cdot N_1'(F_1) + \Delta_1 &= \Delta f \cdot N_2'(F_2) + \Delta_2, \\
 \Delta f &= (\Delta_2 - \Delta_1) / (N_1'(F_1) - N_2'(F_2)).
 \end{aligned}$$

Найти $N_i'(F)$ так же просто, как и определить само значение $N_i(F)$. Эти процессы без особых затруднений совмещаются, что экономит вычислительные ресурсы. Эффективность поправки Δf непосредственно зависит от нелинейности функций $N_i(F)$ в области своих аргументов.

Для обучения нейронной сети необходимо составить обучающую последовательность, от полноты которой будет непосредственно зависеть качество обучаемой сети и точность полученных расчетов. Для составления обучающей последовательности, предлагается использовать метод конечных элементов, с помощью которого вычисляются перемещения контактных точек конструкции, вызванные воздействием внешних сил. На рис. 2 приведен пример опоры с тремя контактными точками (1, 2, 3).

Согласно методу конечных элементов, перемещения узлов конструкции могут быть найдены из решения уравнения:

$$K\vec{q} = \vec{F},$$

где K – матрица жесткости системы, \vec{F} – вектор сил в узлах конструкции, \vec{q} – искомый вектор перемещений узлов конструкции.

Последовательность обучения состоит из пар векторов $F^* = \{f_1, f_2, f_3\}^T$ и $V = \{v_1, v_2, v_3\}^T$, которые составляются путем выборки из векторов \vec{F} и \vec{q} значений, соответствующих контактным точкам. Для каждой пары из обучающей последовательности необходимо найти решение приведенной системы уравнений, в

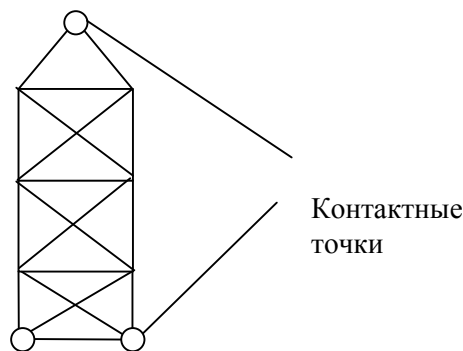


Рис. 2.. Пример опоры с тремя контактными точками

которой матрица жесткости K остается неизменной, а варьируется вектор \vec{F} . По обучающей последовательности производится обучение нейронной сети компонента.

Полученные значения перемещений компонентов конструкции оцениваются на допустимость. Если найдены нарушения, то в зависимости от их типа нарушений по базе

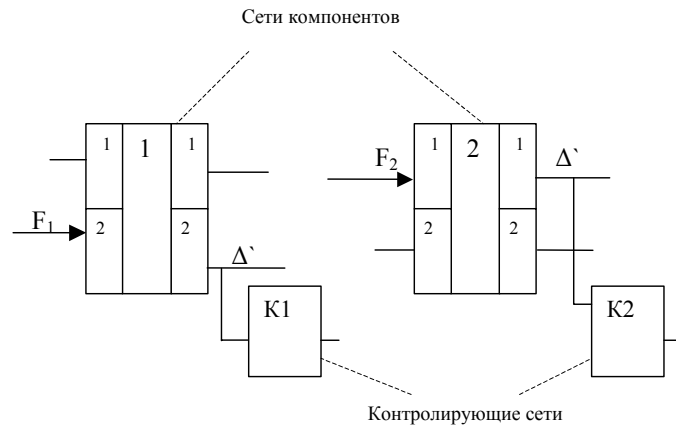


Рис. 3. Пример сети с контролирующими подсетями

компонентов производится поиск компонента с аналогичным функциональным назначением. В случае нахождения подходящего компонента осуществляется замена прежнего компонента новым. Таким образом, помимо контроля за состоянием конструкции с помощью классификации компонентов по функциональным назначениям появляется возможность осуществлять поиск решений выявленной проблемы. Контроль за перемещениями контактных точек компонентов может осуществляться с помощью контролирующей нейронной сети (рис 3). Применение нейронной сети для контроля обусловлено сложностью зависимостей между допустимыми перемещениями контактных точек. Обучение контролирующих сетей проводится на основе тех же данных, которые использовались для обучения нейронных сетей компонентов. Результатом функционирования данной сети будет являться оценка допустимости перемещений в диапазоне $[-0.5;0.5]$. Положительным значениям соответствуют допустимые перемещения, отрицательным - критические перемещения. Пользуясь приведенной оценкой при подборе компонентов, можно устанавливать преимущества одного компонента по сравнению с другими.

Применение нейронных сетей для расчета конструкций позволит многократно сократить объемы требуемых вычислений и тем самым предоставить возможность более тесной интеграции с программным обеспечением САПР. Такая интеграция позволит производить интерактивный контроль за проектируемой моделью, что должно качественно изменить процесс проектирования. Также станет возможным осуществление синтеза конструкций в рамках САПР.