

УДК 624.01

**И. М. Кузменко, канд. техн. наук, доц., В. М. Фридкин, канд. техн. наук, доц.,
М. Э. Подымако, О. В. Леоненко, В. Н. Медведев**

АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНОГО НЕСУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА СРЕДСТВАМИ САПР

Рассмотрен подход к расчету напряженно-деформированного состояния композитного несущего элемента строительных конструкций

Наличие определенных преимуществ у железобетонных компонентов обуславливает их широкое применение в строительной отрасли. Непрерывное развитие строительной отрасли приводит к усовершенствованию технологий и появлению новых форм изделий. Разработка новых конструкций с повышенной несущей способностью, упрощение технологий их производства ставит перед конструкторами сложные задачи. Решение таких задач невозможно без использования систем автоматизированного проектирования, которые в последнее время постоянно совершенствуются в части математического аппарата.

Объектом исследования является композитный несущий элемент строительных конструкций (КНЭСК). Конструкция КНЭСК представляет собой композитную структуру, объединяющую бетоны с металлом за счет подключений в систему, наряду с одной – двумя разновидностями бетона и стержневой арматуры, еще и листового стального проката [1, 2]. Один из вариантов конструктивного исполнения КНЭСК представлен на рис. 1. Основными элементами являются: бетонная составляющая 1, фасонная листовая арматура 2, лист 3 и стержневая арматура 4. Фасонная арматура 2, лист 3 и бетон 1 определяют несущую способность композитного элемента, а стержневая арматура 4 выполняет монтажные функции и способствует сцеплению металлического каркаса с бетонным заполнителем. КНЭСК обладает хорошей мас-

штабируемостью и гибкостью в конструктивном плане, что определяет его возможное широкое применение в строительных конструкциях различного назначения.

Укрупненно задачу проектирования КНЭСК средствами САПР можно представить в виде следующих этапов (рис. 2):

- разработка геометрической параметрической модели (CAD);
- разработка численной математической модели (CAE);
- подготовка конструкторско-технологической документации (CAM).

Разработка геометрической параметрической модели и подготовка конструкторско-технологической документации не представляют особого труда для инженера-конструктора в системах автоматизированного проектирования.

Этап разработки численной математической модели наиболее трудоемок и предполагает наличие специальной подготовки. Существующие методы и методики расчета железобетонных элементов [3] базируются на полуэмпирическом подходе, результатом реализации которого, вследствие наличия различных коэффициентов, является диапазон значений. Конструктору, опираясь на профессиональный опыт и дополнительную информацию, требуется выбрать из этого диапазона значения, которые будут однозначно определять конструктивно-технологические параметры элемента.

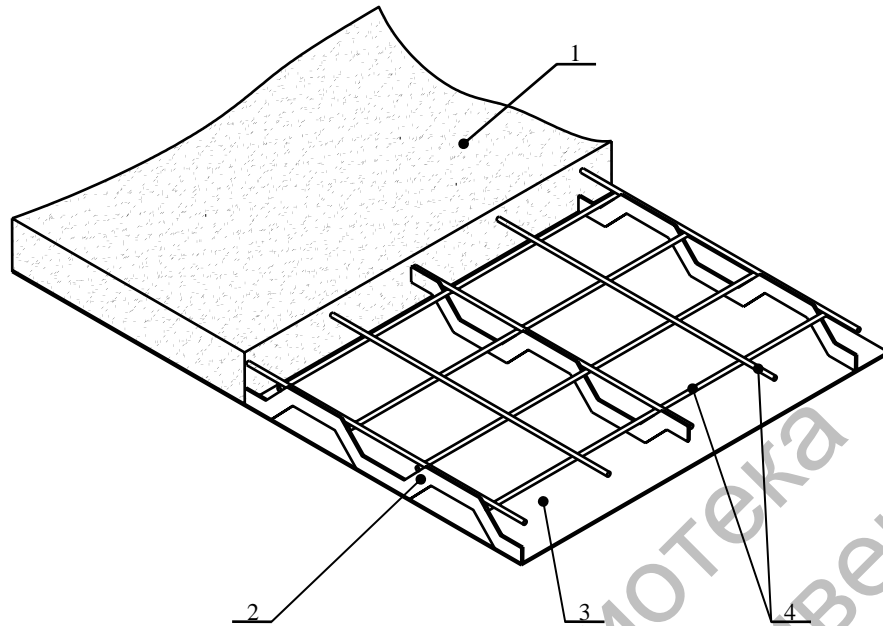


Рис. 1. Вариант конструктивного исполнения КНЭСК

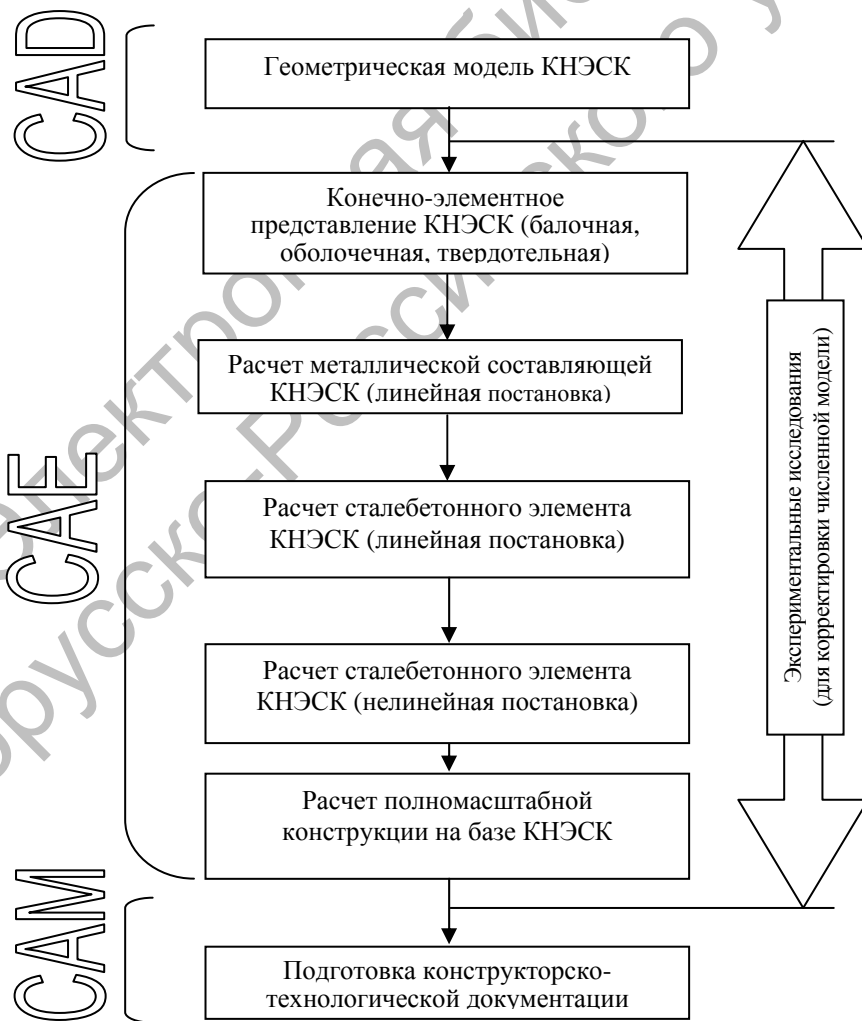


Рис. 2. Структура процесса проектирования КНЭСК

Огромный опыт, накопленный в области строительного производства, служит хорошей базой знаний при проектировании различных инженерных сооружений. Однако при разработке принципиально новых конструктивных форм железобетонных элементов этих знаний может оказаться недостаточно для синтеза методов расчета. Требуется применение универсальных и в то же время адекватных и гибких методов расчета [4].

Под это определение подходит метод конечных элементов (МКЭ), хорошо зарекомендовавший себя в расчетах конструкций различного назначения, в том числе и строительных. В зарубежной практике он стал расчетным стандартом, о чем свидетельствует множество программных продуктов, реализующих этот метод. Его основными преимуществами являются большая база элементов, адекватно описывающих поведение и взаимодействие самых различных материалов и сред, возможность решения мультидисциплинарных задач, хорошая масштабируемость.

При расчете КНЭСК необходимо рассматривать как систему взаимодействующих элементов. Для детальной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) КНЭСК его необходимо проанализировать в ряде состояний с различными схемами и параметрами внешних воздействий, а также учесть особенности взаимодействия между элементами. Рассмотрим этапы расчета НДС КНЭСК в объеме, необходимом для полного понимания специфики его работы как базового несущего элемента строительных конструкций.

На первом этапе необходимо рассмотреть работу стальной составляющей КНЭСК отдельно от бетона. Это даст возможность проанализировать влияние конструктивных параметров армирования на его несущую способность. Возможен подбор рациональных параметров элементов армирования по заданным уровням прочности, жесткости, металлоемко-

сти. На этом этапе КНЭСК может быть представлен балочной, оболочечной, твердотельной либо комбинированной конечно-элементной (КЭ) моделями. Процесс создания КЭ модели поддается автоматизации, что позволяет сэкономить человеческие и машинные ресурсы. Необходимо рассмотреть ряд расчетных схем, определяющих характер нагружения стальной составляющей, которые соответствуют условиям эксплуатации. Результатами реализации математической модели армирования КНЭСК являются изоповерхности перемещений, деформаций и напряжений, дающие наглядную информацию об особенностях НДС.

На следующем этапе КНЭСК рассматривается как сталебетонный элемент (рис. 3), однако без учета реального физического взаимодействия между средами. Этот расчет необходим для определения потенциальных мест образования трещин и не дает каких-либо конкретных численных значений.

Дальнейшее усложнение математической модели приводит к рассмотрению КНЭСК как композитного элемента с учетом нелинейностей. В модели необходимо рассмотреть два типа нелинейностей: контактную и механических свойств бетона. Контактная нелинейность учитывает непрямую зависимость между деформацией и напряжением в зонах контакта стали и бетона. Возможно задание допускаемых контактных напряжений, превышение которых приводит к разрыву связей между взаимодействующими средами (бетоном и сталью). Еще одним вариантом описания взаимодействия бетона и стали является использование специальных конечных элементов, позволяющих задать граничные значения нормальных и касательных усилий, при которых происходит срыв сцепления. В этом случае задача решается в нелинейной, но бесконтактной постановке.

Учет нелинейных свойств бетона позволит смоделировать процесс трещи-

нообразования и перераспределения нагрузки между несущими элементами КНЭСК.

Далее необходимо провести анализ НДС полномасштабной конструкции, базовым элементом которой является КНЭСК. Это позволит более адекватно промоделировать работу КНЭСК с учетом взаимодействия между элементами

конструкции. На этом этапе возможно применение суперэлементного подхода, дающего преимущества в использовании вычислительных ресурсов. Результатами расчета являются изоповерхности и эпюры перемещений, деформаций, напряжений, линии влияния от подвижной нагрузки, собственные частоты колебаний и т. д.

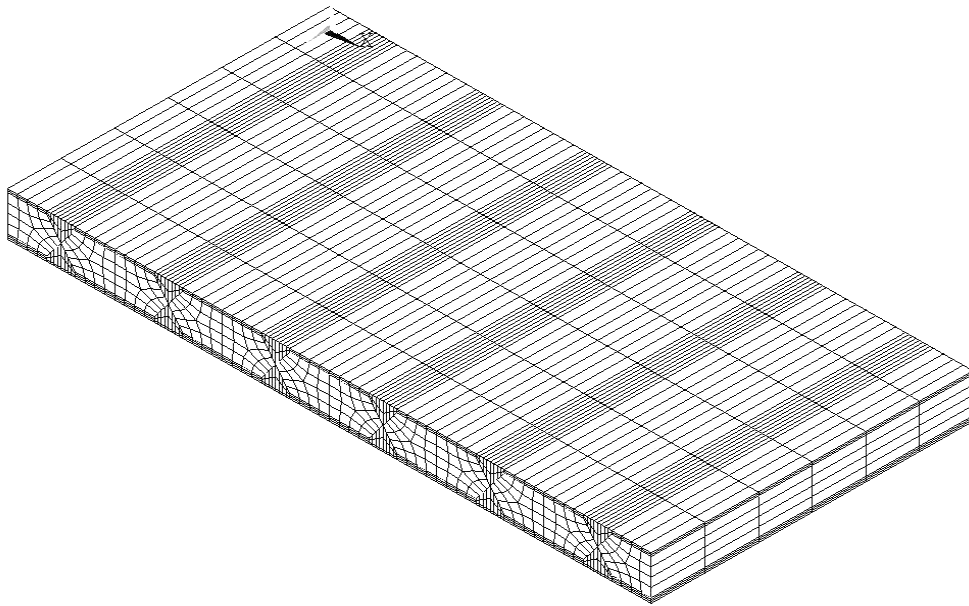


Рис. 3. Конечно-элементная модель КНЭСК

Кроме того, на всех этапах изготовления и монтажа КНЭСК необходимо учитывать технологические деформации и напряжения. На стадии изготовления стальной составляющей (сварки) решение сопряженной термопрочностной задачи позволит определить характер распределения и величины сварочных деформаций и напряжений. Это даст возможность оптимизировать технологический процесс сварки для уменьшения ее влияния либо, наоборот, для создания необходимого преднапряженного состояния.

Процесс усадки бетона во время твердения также является силовым воздей-

ствием, в первую очередь, на стальную составляющую и требует рассмотрения.

Необходимо отметить, что, несмотря на широкие возможности математического КЭ моделирования конструкций, необходимо проводить экспериментальные испытания, которые могут выступать как средство верификации расчетов, так и в качестве источника исходных данных.

Результатом расчетов будет являться конструкция с расчетно-обоснованными размерами, параметрами, характером взаимодействия элементов, с прогнозируемым поведением в условиях эксплуатации и высоким

уровнем конструкторско-технологической надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 4082 РБ, МПК⁷ Е 04 С 2/28. Композитный несущий элемент строительных конструкций / В. М. Фридкин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. – № 970421 ; заявл. 29.07.97 ; опубл. 19.04.01, Бюл. № 3. – 3 с. : ил.

2. Пат. 2181406 РФ, МПК⁷ Е 01 Д 12/00, Е 04 С 2/24. Композитный несущий элемент строительных конструкций / В. М. Фридкин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. – № 97121947 ; заявл. 29.07.97 ; опубл. 20.04.02, Бюл. № 11. – 6 с. : ил.

3. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва РБ, 2003. – 139 с.

4. Чигарев, А. В. Ansys для инженеров : справ. пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 26.09.2006

I. M. Kuzmenko, V. M. Fridkin, M. E. Podymako,
O. V. Leonenko, V. N. Medvedev
Aspects of designing of composite bearing
element with CAD/CAE/CAM systems
Belarusian-Russian University

Approach to analyzing of stress-strain state of the composite bearing element of the building constructions is considered.