

Сопоставление полученных значений K_c по ТКП и Еврокоду 5 показывает, что наименьшая разница 1,89 % составляет при гибкости $\lambda = 90$.

При $\lambda = 150$ разница составляет - 43 %, а при $\lambda = 30$ (при которой должна выполняться проверка на устойчивость) + 32,5. При этом при $\lambda \leq 50$ коэффициент K_c по Еврокоду 5 больше единицы, что не имеет смысла.

Заключение

1. Целая древесина по Еврокоду 5 имеет более широкий диапазон градации по качеству (12 классов вместо 3 сортов по Нормам РБ), что позволяет более экономично проектировать деревянные конструкции, кроме того, каждый класс прочности по Еврокоду 5 отличается своим модулем упругости, чего нет в Нормах РБ.
2. Сопротивление при растяжении для элементов вдоль волокон по Еврокоду 5 существенно выше, чем по Нормам РБ: в неослабленных сечениях на 21,18 %, в ослабленных сечениях на 52,3 %. По-

скольку в соответствии с [1] ослабления на участке до 200 мм встраиваются в одно сечение и приводят к существенному ослаблению элемента, то не рекомендуется проектировать элементы с ослаблениями, расположенными на участке до 200 мм.

3. Методика определения коэффициента продольного изгиба K_c при центральной сжатии деревянных элементов по Нормам РБ [1] является более корректной, чем по Еврокоду 5 [2].

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05.-146-2009. – Минск, 2009.
2. Проектирование деревянных конструкций. Еврокод 5: ТКП EN 1995-1-1-2009. – Минск, 2009.

Материал поступил в редакцию 31.01.14

ZAHARKEVICH I.F., SHEVCHUK V.L. Assessment of bearing ability of wooden elements on Norms of RB and Eurocode 5

Results of calculation of elements from integral wood on stretching and compression along fibers, determination of coefficient of a longitudinal bend of k_c at the central compression are given. Calculations are executed according to Norms of Republic of Belarus and ТКП EN 1995-1-1-2009 (Eurocode 5). The comparative assessment of the received results is executed.

УДК 624.012.36

Матвеевко Н.В., Шалобьта Н.Н., Малиновский В.Н.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА MCS.NASTRAN ДЛЯ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Введение. Несмотря на распространённость бетонных и железобетонных конструктивных элементов, они остаются весьма сложными для расчёта и конструирования. Это связано главным образом со сложностью прогнозирования работы бетона при действии нагрузки, и в первую очередь это касается новых решений конструктивных элементов. При проектировании нетиповых конструктивных элементов основная сложность при моделировании работы конструкции заключается в выявлении изменений ее напряжённо-деформированного состояния при увеличении нагрузки, определении момента появления трещин и особенностей работы конструкции с трещинами.

Для построения модели работы конструкции, как правило, прибегают к экспериментальным исследованиям конструкции, выполненной в натуральную величину. Однако, как известно, изготовление натуральных строительных конструкций является дорогостоящим и трудоёмким процессом. Поэтому в последнее время на начальных этапах исследования напряжённо-деформированного состояния конструкций все чаще прибегают к численному моделированию, как правило, с использованием ЭВМ.

К настоящему моменту имеется большое количество различных программных пакетов, которые основаны на методе конечных элементов и позволяют моделировать различные по конфигурации и форме объекты. Наиболее распространёнными в среде инженеров и проектировщиков, научных сотрудников являются LiraSoft, ANSYS, Sofistik, SAP2000, MSC.Nastran и др. [1, 2].

В основу общего расчетного ядра всех вышеперечисленных программных комплексов (ПК) положен метод конечных элементов. Однако каждый из ПК имеет свои особенности и границы применимости.

«LiraSoft» является многофункциональным программным комплексом, предназначенным для проектирования и расчета строительных конструкций различного назначения. Расчеты могут выполняться как на статические, так и на динамические нагрузки. Различные подключаемые модули позволяют делать подбор и проверку сечений стальных и железобетонных конструкций, моделировать грунты и др.

Программный модуль «Мономах», входящий в состав LiraSoft, предназначен для расчета и проектирования конструкций зданий из монолитного железобетона, а также зданий с кирпичными стенами. В процессе работы программного модуля производится расчет здания и его отдельных частей с формированием рабочих чертежей и схем армирования конструктивных элементов. Однако, несмотря на достаточно простой интерфейс и отсутствие языкового барьера, программный комплекс LiraSoft по своим возможностям значительно уступает прямым зарубежным конкурентам.

Программный комплекс «Sofistik» представляет собой средство виртуального моделирования и симуляции поведения конструкции при различных воздействиях. Главными его достоинствами являются: возможность учитывать физическую и геометрическую нелинейность материалов, ползучесть, изменение напряжённо-деформированного состояния во времени, возможность активного анализа.

MSC.Nastran (с наиболее известным пост-процессором Femap) является пакетом конечно-элементного анализа с возможностью подключения к оболочке различных многофункциональных расчетчиков, таких как ANSYS, Nastran, Solaris и др., позволяющих моделировать различные процессы [3]. Основное его достоинство – универсальность, а применение пост-процессора Femap программного пакета предоставляет возможность создавать и управлять конфигурацией конечных элементов, с помощью которых в ручном и автоматическом режиме может быть получен объект любой конфигурации, а также подключать мировые базы материалов. Кроме этого, предусмотрена возможность как статических, так и динамических расчетов, тепловых расчетов и др. Также к преимуществам данного пакета можно отнести простой графический интерфейс, что в значительной степени облегчает моделирование объектов.

Состояние вопроса. Основными вопросами при численном моделировании железобетонных конструкций являются создание конечных элементов бетона и арматуры с заданными физико-

Малиновский Василий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Матвеевко Никифор Викторович, студент строительного факультета Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

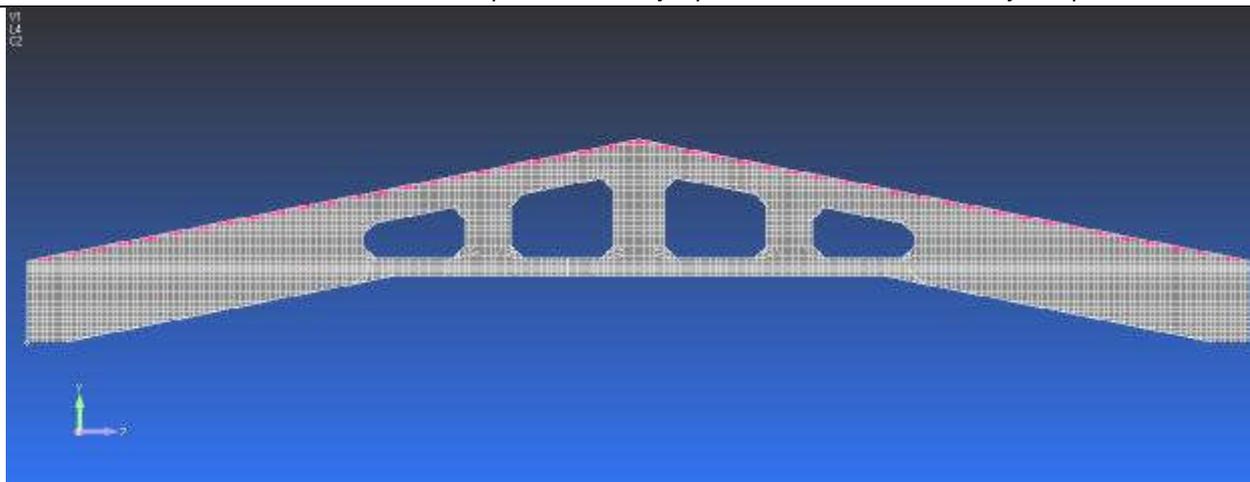


Рис. 1. Конечно-элементная модель узла

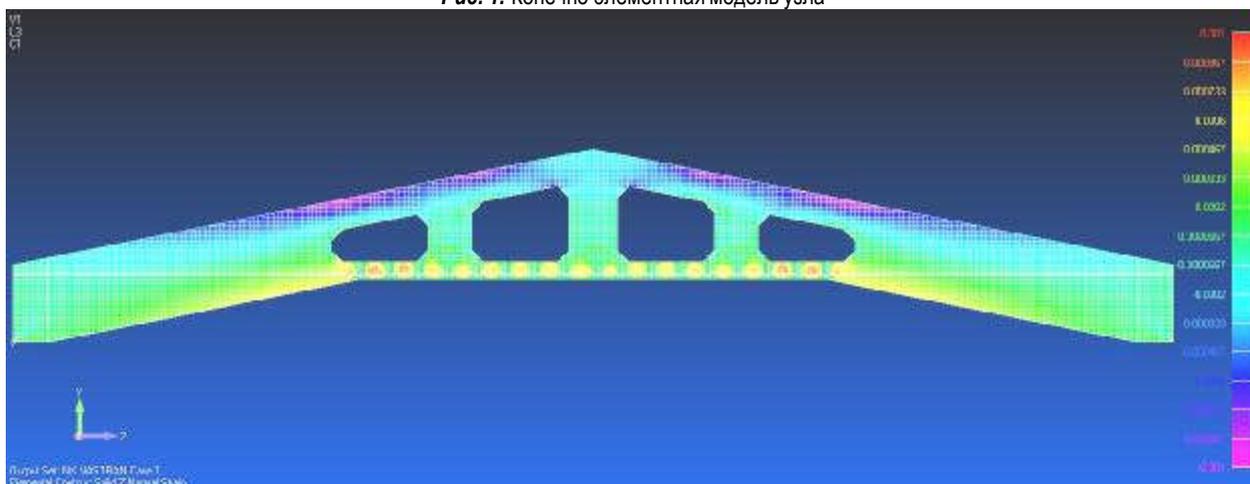


Рис. 2. Изополя относительных деформаций

механическими характеристиками, а также моделирование совместной работы арматуры с бетоном. В процессе моделирования возможно создать прочностные и деформационные параметры отдельно для бетона (с учетом полной или упрощенных диаграмм «напряжения-деформации») и для стальной арматуры. Однако вопрос о работе бетона с арматурой в зоне их контакта, образовании трещин в растянутой зоне элемента и работе моделируемого объекта с трещинами остаётся наиболее сложной задачей.

В упрощенной постановке задачи для предварительного анализа напряжённо-деформированного состояния предлагается два наиболее распространённых метода учета сцепления бетона с арматурой:

- создание промежуточного объемного слоя между арматурой и окружающим ее бетоном. При этом для материала этого промежуточного слоя задаются физико-механические характеристики, которые описывают работу бетона с арматурой по контакту сцепления;
- создание линейных конечных элементов с заданными упругими характеристиками.

Оба этих метода имеют существенные недостатки. Однако при моделировании железобетонных элементов при помощи первого и второго методов необходимо точно знать прочностные и деформативные характеристики сцепления арматуры с бетоном и законы их распределения. Однако описание законов распределения основывается, чаще всего, на эмпирических формулах, полученных экспериментально, и трудно поддается моделированию.

Кроме этого следует учесть невозможность определения напряжения в бетоне и арматуре в районе трещин в растянутой зоне изгибаемого элемента при абсолютной жёсткой связи в узлах сетки стержневых конечных элементов арматуры и бетона. Также немаловажно, что при достаточно большой (с количеством конечных элементов 300 000–500 000) модели для нелинейного расчета необхо-

димо использование мощных ЭВМ и затрат значительного количества времени.

Численная модель железобетонной двускатной балки. В компьютерной среде MSC.Nastran авторами была сделана попытка создания расчетной схемы железобетонной двускатной балки с ломанным нижним поясом, в качестве продольного армирования которой были приняты три преднапряженных каната диаметром 15 мм.

Для построения конечно-элементной трехмерной модели применено твердотельное моделирование с использованием конечных элементов (КЭ) «Solid». Разбивка производилась с использованием твердотельных пространственных пяти- и шестигранных элементов «Solid» типа «Brick» («Брусочек») и «Wedge» («Клин»), со сторонами, отвечающими линейной функции формы.

Построение конечно-элементной модели производилось в ручном режиме, что позволило строго контролировать количество, форму и размеры применяемых твердотельных пространственных элементов. Разбивка осуществлялась в продольном и поперечном направлениях. Аналогичным образом, но в цилиндрической системе координат была нанесена сетка КЭ в местах постановки арматуры, при разбивке на конечные элементы арматуры центральный угол составлял 30° . Численный анализ при моделировании позволил сгустить сетку конечных элементов к размерам, не превышающим 50 мм по бетону (4 слоя по толщине балки, более 33 000 узлов и более 32 000 КЭ), которая в наибольшей степени отражает геометрические особенности балки (ломаный нижний пояс, отверстия в стенке балки, наличие армирования). Общий вид КЭ модели показан на рисунке 1. Связь между бетоном и арматурой принималась без введения дополнительных конечных элементов.

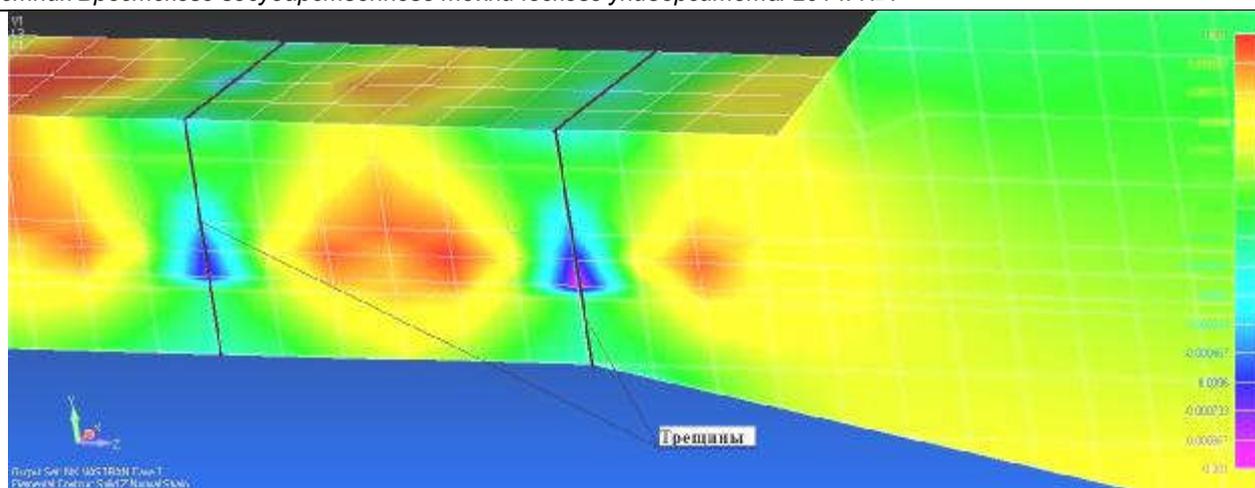


Рис. 3. Деформации в бетоне на участке между трещинами

Отличительной особенностью данной модели является то, что в растянутой зоне элемента искусственно создаются трещины. При этом при моделировании использовалось два пути определения мест возникновения трещин.

В соответствии с первым, более трудоёмким, нагружение балки производилось нагрузкой, равномерно распределенной по верхнему поясу балки. Нагрузка прикладывалась ступенчато с шагом 1,6 кН/м и доводилась до величины 40 кН/м. На каждой ступени производился анализ возникающих в растянутой зоне бетона деформаций. В областях, где деформации бетона превышали предельно допустимые ($\epsilon_{ct} > \epsilon_{ct,u}$), создавались разрывы между соседними элементами бетона. Таким образом, имитировалось возникновение трещин нормальных к продольной оси балки. Следует отметить, что слой конечных элементов арматуры оставался непрерывным, поэтому возникающие в сечении с трещиной в бетоне растягивающие усилия воспринимались арматурой.

При втором способе (более простом) трещины размещались с шагом 300 мм, что допускается нормами [4, 5].

Анализ напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции производился по величине деформаций, возникающих как в сжатой, так и в растянутой зоне бетона и в арматуре при различных нагрузках (рисунок 2).

Не меньший интерес представляет полученное напряженно-деформированное состояние бетона на участках между искусственными трещинами. Из рисунка 3 четко прослеживается постепенное вовлечение арматуры в работу бетона растянутой зоны от сечения с трещиной до сечения в середине длины между трещинами. Данное обстоятельство давно используется при рассмотрении процессов трещинообразования бетона и заложены в теории расчета железобетона многими авторами [6, 7].

Заключение

1. Анализ различных программных комплексов позволил установить, что для создания адекватной объемной твердотельной модели железобетонной конструкции с заданными прочностными и деформационными характеристиками материалов в виде их

полных диаграмм деформирования под нагрузкой в научных целях в наибольшей степени подходит MSC.Nastran.

2. Предварительный упругий анализ поведения объемной твердотельной модели железобетонной балки под нагрузкой показал, что для исследования напряженно-деформированного состояния конструкции с трещинами наиболее простым методом является создание искусственных трещин в виде извлечения конечных элементов вблизи области возможного возникновения данных трещин. Области возможного появления трещин определяются на основании анализа деформаций в бетоне.
3. В результате численного моделирования напряженно-деформированного состояния железобетонной балки, работающей с трещинами, получены качественные картины распределения напряжений и деформаций в бетоне и арматуры на участке между трещинами.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров – К.: Факт, 2005. – 340 с.
2. Городецкий, А.С. Метод конечных элементов. Теория и численная реализация / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров, Е.Б. Стрелец-Стрелецкий, В.Е. Боговис, Ю.В. Гензерский, Д.А. Городецкий. – К.: Факт, 1997. – 140 с.
3. MSC.visualNASTRAN для Windows / С.П. Рычков. – М.: НТ Пресс, 2004. – 552 с. ил. – (Проектирование и моделирование).
4. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Введ. 01.07.2003. – Мн.: Стройтехнорм, 2002. – 144 с.
5. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1: общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009. Введ. 01.01.2010. – Мн.: Стройтехнорм, 2010. – 206 с.
6. Гвоздев, А.А. О некоторых направлениях в теории деформирования и длительной прочности бетона // Прочностные и деформационные характеристики элементов бетонных и железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1981. – С. 42–47.
7. Мурашев, В.И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона. – М.: Стройиздат, 1950. – 268 с.

Материал поступил в редакцию 17.03.14

MA TVEENKO N.V., SHALOBUTA N.N., MALINOVSKY V.N. About possibility of use of the program complex MSC.Nastran for the analysis strain-stress condition of reinforced concrete elements

In article the method of research offered by authors strain-stress condition of reinforced concrete elements by means of the program complex MSC.Nastran is considered.

The offered method allows to create volume solid model of a reinforced concrete element, on the basis of the analysis of deformations in the stretched zone of concrete and artificial creation of cracks in areas where deformations exceed critical permissible. As a result, it becomes possible to analyze the strain-stress condition of reinforced concrete elements with cracks.