

ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРОЕКТУ СНБ 5.03.01

Стремление к гармонизации отечественных норм проектирования железобетонных конструкций с Европейскими нормами, впервые широко прозвучавшее на сессии Национального Комитета ФИП-ЕКБ в 1991 году в г. Новополоцке, и работа ученых и специалистов в этом направлении в последнее десятилетие прошедшего века позволили создать проект основного нормативного документа (СНБ 5.03.01 "Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования"). Кроме требований гармонизации, повышения надежности и долговечности железобетонных конструкций, проект СНБ учитывает последние экспериментально-теоретические данные в области железобетона.

В проекте СНБ в качестве базовой расчетной модели нормального сечения железобетонных элементов предлагается принять, так называемую, деформационную модель. Данная расчетная модель включает в себя: уравнения равновесия внешних и внутренних сил, условие деформирования нормального расчетного сечения в виде гипотезы плоских сечений для усредненных значений относительных деформаций и диаграммы деформирования бетона и арматуры. Система определяющих уравнений преобразуется к разрешающим уравнениям, которые решаются шагово-итерационными методами, в основе которых лежат различные модификации метода упругих решений применительно к бетону и железобетону [1].

Применительно к железобетонным конструкциям, отличающимся нелинейностью диаграмм деформирования бетона и арматуры, трещиноватостью бетона деформационная расчетная модель описана в работах Дыховичного А.А. 1978г. [2], Леонгардта Ф. 1980г. [3], Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. 1982г. [4], Ильина О.Ф., Гвоздева А.А., 1984г. [5], Гущи Ю.П., Лемыша Л.Л. 1985г. [6], Карпенко Н.И., Мухамедиева Т.А., Сапожникова М.А. 1987г. [7], Байкова В.Н., Додонова М.И., Расторгуева Б.С. 1987г. [8] и др.

Для реализации деформационной расчетной модели нормального сечения железобетонных элементов в Полоцком государственном университете разработана программа расчета БЭТА. Программа позволяет производить расчет параметров напряженно-деформированного состояния, ширины раскрытия трещин в нормальном сечении на любом этапе нагружения железобетонных элементов произвольного поперечного сечения и армирования (в т.ч. с учетом предварительного напряжения) при любом виде напряженно-деформированного состояния (сжатие, растяжение, изгиб, косоое внецентренное сжатие, косоой изгиб), а также подбор площади поперечного сечения рабочей продольной арматуры (рис. 1).

С помощью названной программы можно получить зависимость "момент-кривизна" для расчета статически неопределимых конструктивных систем с учетом переменных жесткостных характеристик и зависимость предельных значений "продольное усилие-момент" для проектирования внецентренно нагруженных железобетонных элементов. Сопоставление результатов расчета нормального сечения железобетонных элементов по проекту СНБ с использованием программы БЭТА с результатами расчета по СНиП 2.03.01-84*[9] показывает удовлетворительную сходимость (рис. 2).

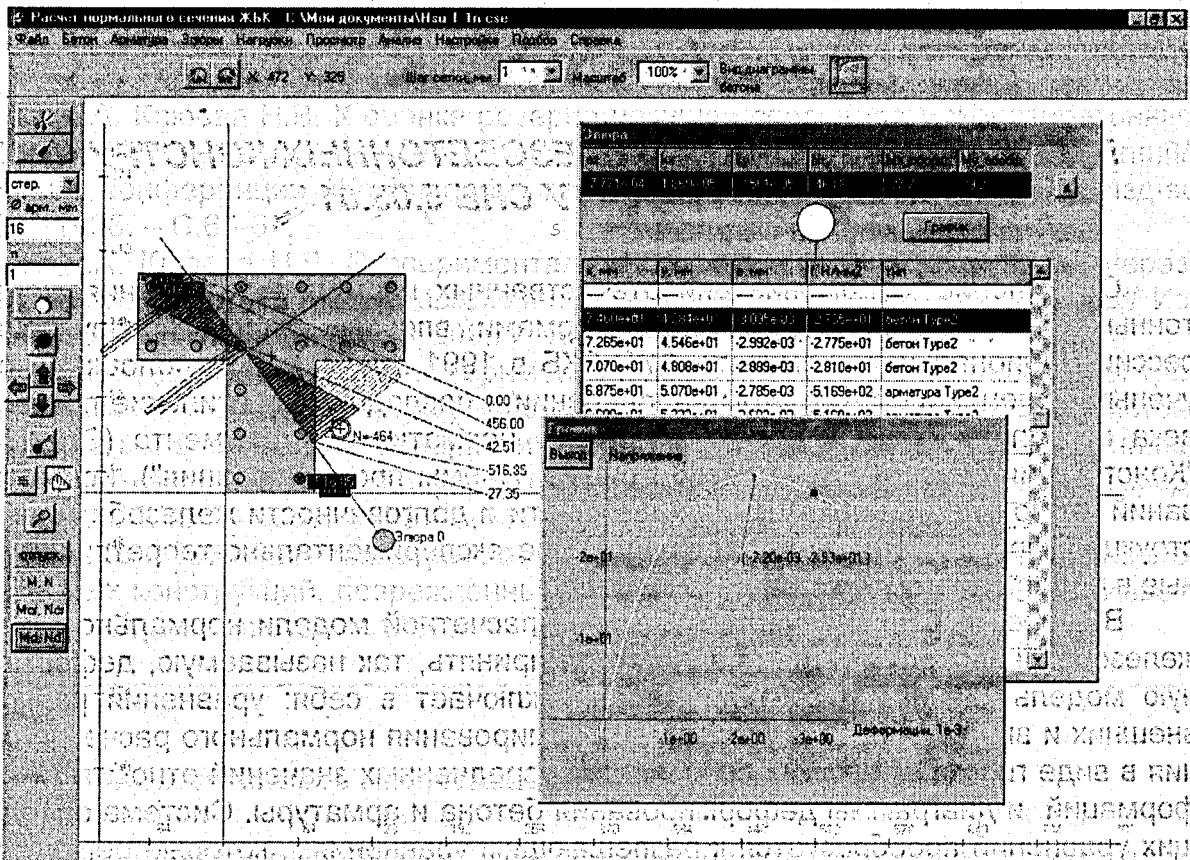


Рис. 1.

Главное окно программы БЕТА

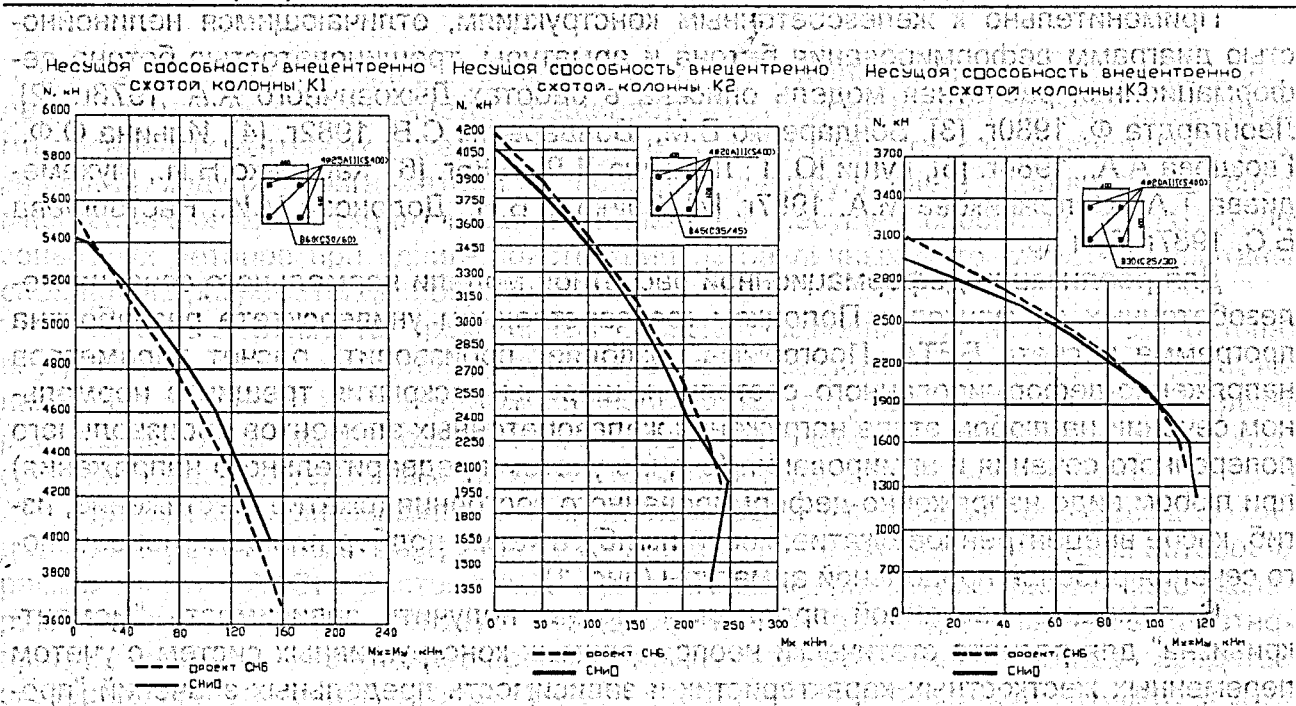


Рис. 2.

Сопоставление результатов расчета по СНиП 2.03.01-84* и проекту СНБ 5.03.01

Согласно требованию проекта СНБ в общем случае расчет стержневых систем должен рассматриваться с учетом физической нелинейности деформирования и реологических свойств материалов, продольного укорочения, особенностей пространственного деформирования конструкций. С целью решения поставленной задачи нелинейного анализа статически неопределимых железобетонных конструкций разработана программа **RADUGA**.

В программе реализован метод, по которому решение нелинейной задачи получается в виде последовательности решений линейных задач сходящихся к результату. Так как модель деформирования железобетона с трещинами является неаналитической, для решения линейной задачи был выбран один из дискретных методов строительной механики – метод конечных элементов.

Метод конечных элементов позволяет эффективно решать самые различные задачи в области расчетов строительных конструкций. При этом он допускает введение расчетных схем сложной геометрической конфигурации, назначение любых граничных условий, введение в расчет элементов с различными физическими и геометрическими характеристиками. Метод конечных элементов является сеточным методом, предназначенным для решения задач микроуровня, для которого модель объекта задается системой дифференциальных уравнений в частных производных с заданными краевыми условиями.

Поскольку для формирования матрицы жесткости элемента для решения задачи по методу конечных элементов необходимы жесткостные характеристики сечений, а жесткость железобетонного элемента является величиной переменной и зависит от величины внутренних усилий, то их получают путем импорта из программы **БЕТА**.

При расчете конструкций по нелинейной модели процесс нагружения удобно разбивать на отдельные этапы. Деление на этапы может соответствовать реальным изменениям режима нагружения конструкции или быть условным. Отличительной особенностью этапа нагружения является то обстоятельство, что за исходную точку принимается состояние конструкции в конце предыдущего этапа и расчет осуществляется в конечных приращениях относительно этого состояния.

Для любого вектора внешней узловой нагрузки $\{L\}$ на k -м этапе нагружения в расчет вводится вектор приращения нагрузки:

$$\{\Delta L\} = \{L\} - \{\bar{L}\}_{k-1}$$

где $\{\bar{L}\}_{k-1}$ – вектор внешней узловой нагрузки в конце предыдущего этапа нагружения.

В результате нелинейного расчета определяется поле приращений узловых перемещений по сравнению с полем узловых перемещений в конце предыдущего этапа $\{\bar{V}\}_{k-1}$:

$$\{\Delta V\} = \{V\} - \{\bar{V}\}_{k-1},$$

где $\{V\}$ – поле текущих узловых перемещений.

Таким образом, при расчете конструкции в приращениях на некотором этапе нагружения глобальная матрица жесткости связывает вектора узловых перемещений и внешней узловой нагрузки относительно начала этапа:

$$[K]\{\Delta V\} = \{\Delta L\}$$

В качестве способа организации нелинейного вычислительного процесса в пределах этапа принят метод переменных параметров упругости. Он заключается в использовании "секущих" коэффициентов упругости с начальной точкой в конце предыдущего этапа нагружения при построении глобальной матрицы жесткости на

итерации. Все необходимые данные для построения матриц жесткости определяются в программе **БЕТА** и передаются в программу **RADUGA** путем формирования файла, содержащего множество решений.

Количество этапов нагружения, соответствующее требуемой точности, определяется следующим образом:

1. первоначально осуществляется итерационный расчет с минимальным количеством шагов (напр., три этапа нагружения);

2. осуществляется новый итерационный расчет, в котором количество этапов нагружения увеличивается умножением предыдущего значения на некоторый коэффициент, устанавливаемый пользователем (напр., два);

3. сравниваются два предыдущих результата на соответствие последнего заданной точности, если точность не обеспечивается, осуществляется новый итерационный расчет с большим количеством этапов нагружения до тех пор, пока не выполнится условие требуемой точности.

Подобный макроитерационный алгоритм требует значительных затрат машинных ресурсов, но практически всегда сходится и обеспечивает заданную точность расчета. Как показал анализ, для определения напряженно-деформированного состояния большинства строительных объектов с погрешностью менее 0.5% обычно достаточно трех макроитераций расчета. Если перемещения элементов конструкций от действия нагрузки достаточно велики, т.е. значительно превышают допустимые, сходимость итерационного процесса резко снижается и объем вычислений возрастает в несколько раз.

В программе рассматриваются геометрически нелинейные эффекты двух видов, вызванные:

1. приобретением и увеличением эксцентриситетов действующих в элементах продольных сил;

2. искривлением и продольными деформациями осей и срединных поверхностей элементов, вызывающих изменение расстояний между узлами (рис. 3).

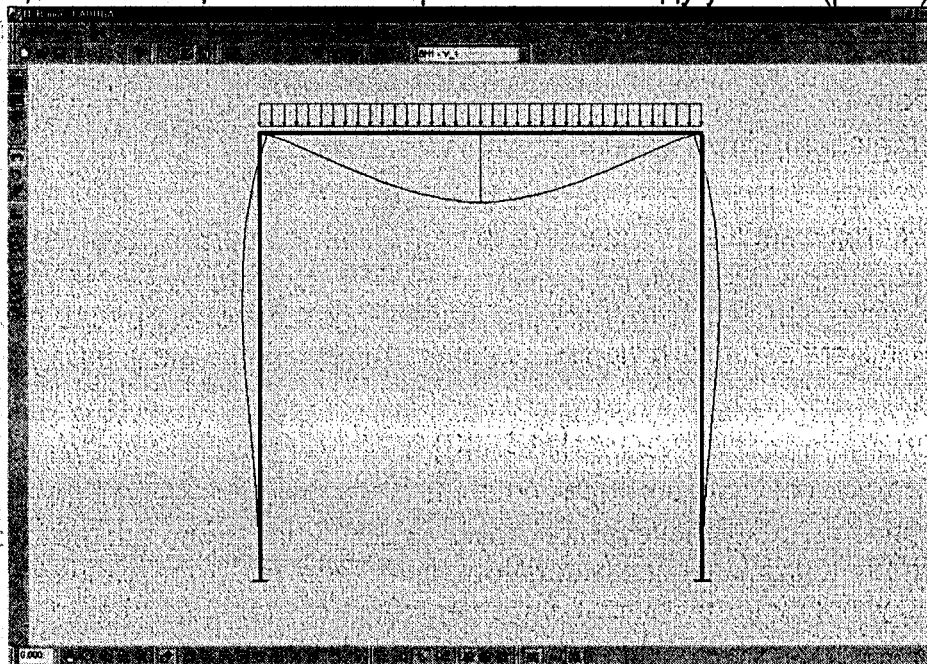


Рис. 3. Окно программы **RADUGA** с примером расчета П-образной рамы с учетом геометрической нелинейности

После принятия проекта СНБ программы БЭТА и RADUGA могут быть использованы проектными и научно-исследовательскими организациями для решения широкого круга задач. Программы предоставляют возможность проектировщику выбор расчета на основе следующих моделей: линейно-упругой, физически нелинейной, геометрически нелинейной или их комбинации. Интерфейс программ построен на принципах, делающих его простым и эффективным в использовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона.-М.:Стройиздат, 1996.-С.5.
2. Дыховичный А.А. Статически неопределимые железобетонные конструкции.- Киев: Будівельник, 1978.- 104с.
3. Леонгардт Ф. Предварительно напряженный железобетон/ Пер. с нем. В.Н. Гаранина.- М.:Стройиздат, 1983.-С.169-172.- Перевод изд.:Spannbeton/ F. Leonhardt.- Springer- Verlag.-1980.
4. Бондаренко В.М.; Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона.- М.: Стройиздат, 1982.-287 с.
5. Ильин О.Ф., Гвоздев А.А., Семенов П.П. Сопротивление кратковременному действию нагрузки железобетонных элементов произвольной формы из разных бетонов и классов арматуры при простом и косом изгибе и внецентренном сжатии// Исследование железобетонных конструкций при статических, повторных и динамических воздействиях. Сб. научн. тр. Под ред. С.М. Крылова и И.К. Белоброва.- М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1984.-С.3-16.
6. Гуца Ю.П., Лемыш Л.Л. Расчет деформаций на всех стадиях при кратковременном и длительном нагружениях// Бетон и железобетон.-1985.-№1.
7. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Сапожников М.А. К построению методики расчета стержневых элементов на основе диаграмм деформирования материалов Совершенствование методов расчета статически неопределимых железобетонных конструкций.-М.:НИИЖБ,1987.
8. Байков В.Н., Додонов М.И., Расторгуев Б.С. и др. Общий случай расчета прочности элементов по нормальным сечениям. - Бетон и железобетон.-1987.-№5.-С.16-18.
9. СНиП 2.03.01-84* "Бетонные и железобетонные конструкции: Нормы проектирования". - М.:ЦИТП, Стройиздат, 1989-80с.
10. Ярин Л.И. К решению физически нелинейных задач для железобетонных пластин с учетом трещин. В сб. трудов. Совершенствование методов расчета статически неопределимых конструкций железобетонных конструкций.- М.: НИИЖБ, 1987.- С. 56-65.

УДК 624.012.45

Лешкевич О.Н., Соловьев Д.С.

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Разбиение области на конечные элементы – важный этап в расчете конструкции по методу конечных элементов, от которого во многом зависит точность получаемых результатов. Разбиение производят в несколько этапов, сначала область разбивают на достаточно крупные подобласти (подконструкции), границы между ко-