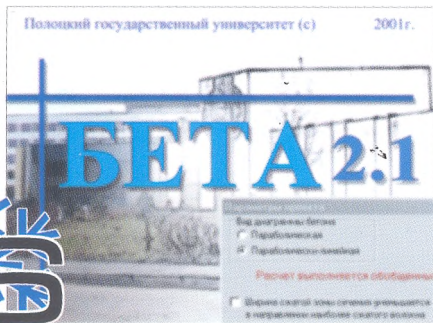


ПРОГРАММЫ БЕТА И RADUGA ДЛЯ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ДМИТРИЙ ЛАЗОВСКИЙ, ДМИТРИЙ ГЛУХОВ, ОЛЕГ ЛЕШКЕВИЧ



Стремление к гармонизации отечественных норм проектирования железобетонных конструкций с европейскими нормами, впервые широко озвученное на сессии Национального комитета ФИП-ЕКБ в 1991 г. в Новополоцке, и работа ученых и специалистов в этом направлении в 1990-е гг. позволили создать *проект основного нормативного документа СНБ 5.03.01 «Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования»*. Кроме требова-

ний гармонизации, повышения надежности и долговечности железобетонных конструкций проект СНБ учитывает последние данные экспериментальных исследований 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

сия, условие деформирования расчетного нормального сечения в виде гипотезы плоских сечений и диаграмм деформирования бетона и арматуры.

Для реализации деформационной расчетной модели нормального сечения железобетонных элементов в Полоцком государственном университете разработана программа расчета БЕТА. 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 том числе с учетом предварительного напряжения) при любом виде напряженно-деформированного состояния (сжатие, растяжение, изгиб, косое центральное сжатие, косой изгиб) (рис. 1).

С помощью 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- и кососжатых железобетонных элементов. Сопоставление результатов расчета нормального сечения железобетонных элементов по проекту СНБ с использованием программы с экспериментальными данными показывает удовлетворительную сходимость.

Спектр задач, решаемых программой, широк и включает все аспекты расчета напряженно-деформированного состояния нормального сечения железобетонного элемента, нормируемые проектом СНБ 05.03.01.

К ним относятся:

– расчет параметров напряженно-деформированного состояния нормального сечения конструкции по I группе предельных состояний при заданных значениях внешних нагрузок и расчет прочности;

– расчет напряженно-деформированного состояния нормального сечения предварительно напряженных конструкций с учетом потерь предварительного напряжения на любой стадии работы конструкции;

– расчет по II группе предельных состояний: моментов образования трещин, ширины раскрытия трещин и кривизны;

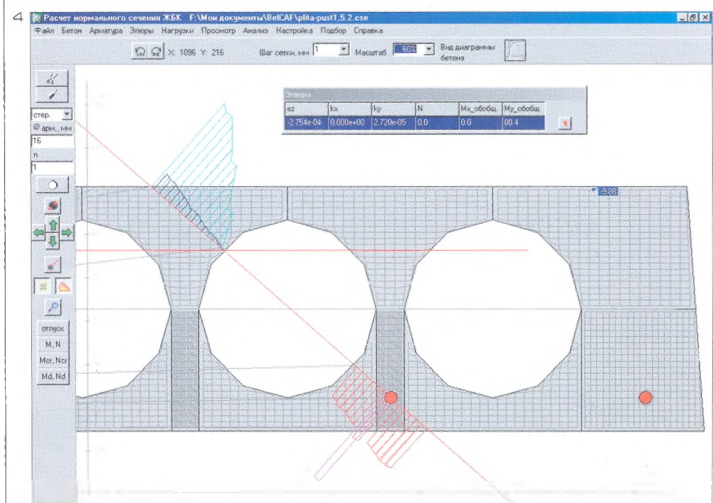
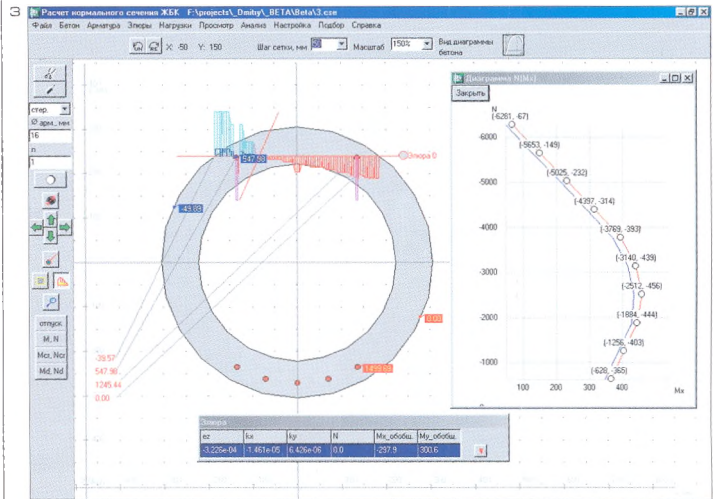
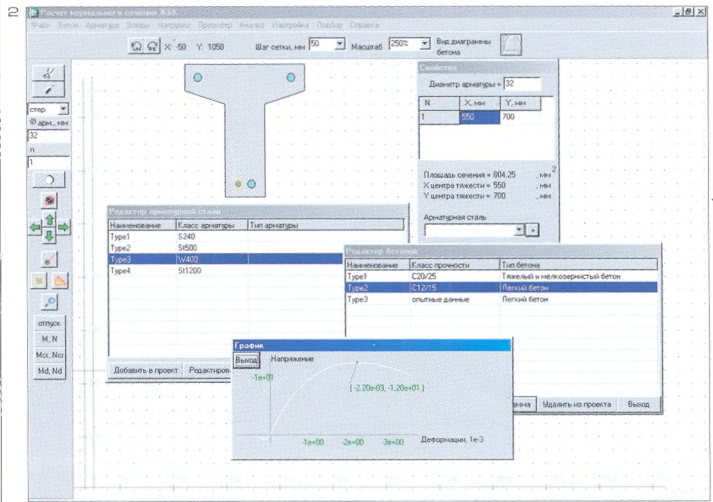
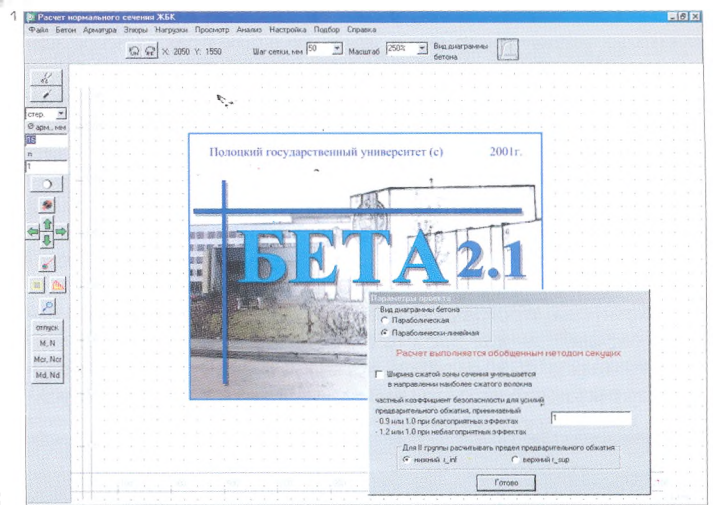
– подбор арматуры из условия обеспечения заданной прочности;

– модуль расчета для программы конечно-элементно-го расчета пространственных стержневых конструкций.

Программа имеет встроенную базу данных материалов: арматурной стали и бетонов. Материалы характеризуются диаграммами деформирования для I и II групп предельных состояний. В базе данных представлены материалы классов прочности, регламентированных СНБ 05.03.01:

- тяжелые и мелкозернистые бетоны;
- легкие бетоны;
- дополнительная возможность задания характеристики бетона по опытным данным;
- арматура с физическим пределом текучести;
- арматура с условным пределом текучести;
- дополнительная возможность задания характеристики арматурной стали по опытным данным;
- предварительно напряженная арматура всех перечисленных вариантов.

На рис. 3 представлен пример расчета кольцевого сечения центрифугированной железобетонной балки с предварительно напряженной арматурой в условиях косого изгиба. Расчет выполнялся в рамках исследований, проводимых БГПА. На скриншоте представлена автоматически построенная программой БЕТА зависимость предельного изгибающего момента от величины про-



1. ГЛАВНОЕ ОКНО ПРОГРАММЫ БЕТА

2. РЕДАКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СЕЧЕНИЯ

3. ПРОСМОТР РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА КОЛЬЦЕВОГО СЕЧЕНИЯ

4. ПРОСМОТР РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПУСТОТНОЙ ПЛИТЫ

дольной сжимающей силы. Это отношение определяет зону допустимых эксцентриситетов и имеет большое практическое значение при проектировании строительных конструкций.

Рис. 4 иллюстрирует расчет многоступенчатой сборной железобетонной плиты. На этом рисунке показана сетка, построенная по центрам элементарных площадок, участвующих в процессе численного интегрирования при решении расчетной системы уравнений. Красным цветом отмечается предварительно напряженная арматура. Также на рисунке красным цветом отображается эпюра напряжений и линия нулевых деформаций. Программа позволяет легко строить эпюры в произвольных направлениях.

С помощью программы можно получить зависимость «момент – кривизна» для расчета статически неопределимых конструктивных систем с учетом переменных жесткостных характеристик и зависимость предельных значений «продольное уси-

лие – момент» для проектирования внецентренно- и кососжатых железобетонных элементов. Сопоставление результатов расчета нормального сечения железобетонных элементов по проекту СНБ 05.03.01 с использованием программы БЕТА с экспериментальными данными показывает удовлетворительную сходимость.

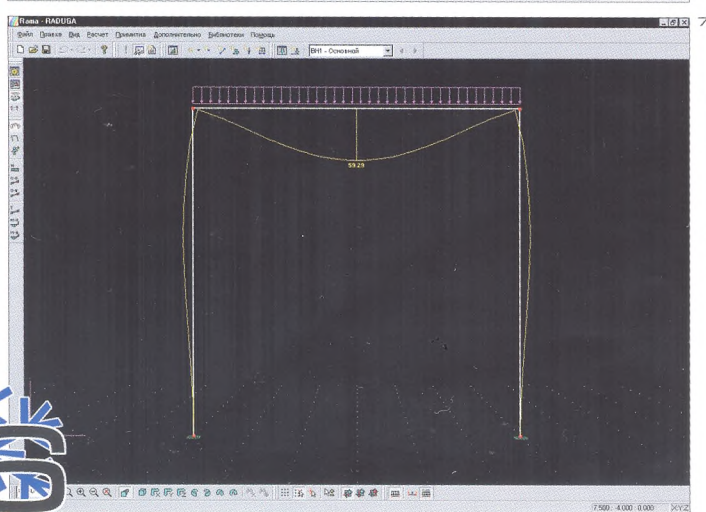
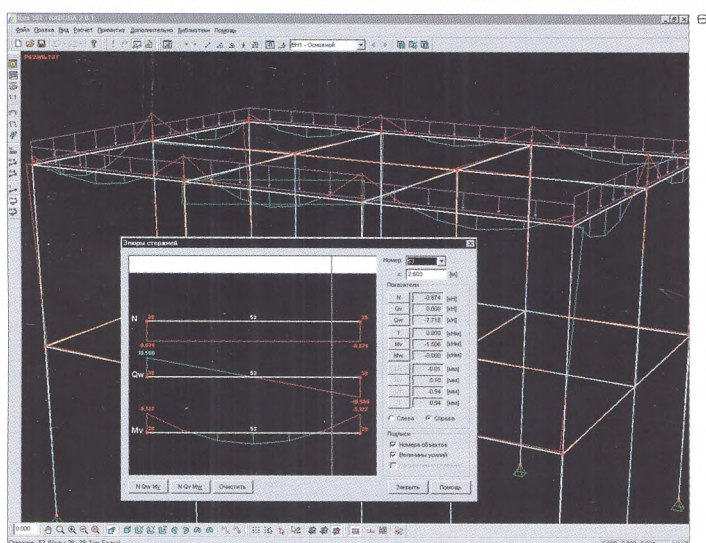
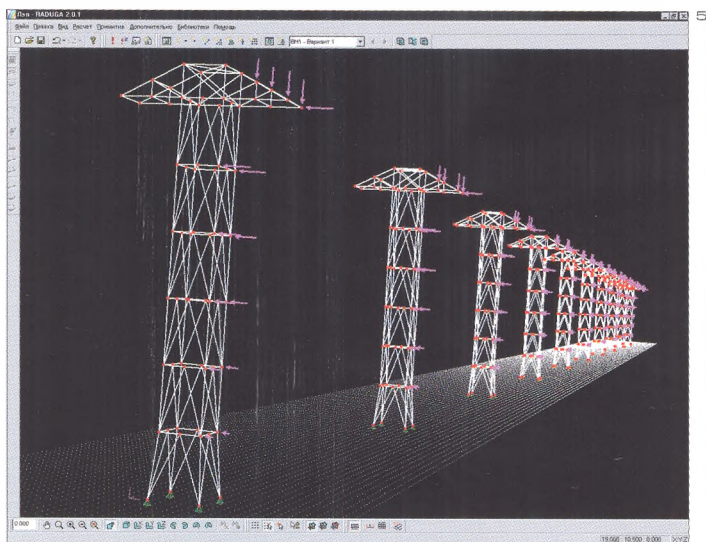
Для расчета пространственных и плоских стержневых конструкций из металла, железобетона, дерева и пластмасс была разработана программа RADUGA (рис. 5). Программа реализует метод конечных элементов в упругой постановке.

Интуитивный графический интерфейс позволяет обеспечить высокую скорость и качество ввода и редактирования данных. Кроме визуального предусмотрен табличный ввод параметров проекта. Программа имеет ряд функций, упрощающих черчение расчетной схемы: параметрический ввод пространственных и плоских рам, копирование и перенос объектов, «вернуть/повторить действие» и т. д. Чтобы упростить назначение элементам расчетной схемы характеристик поперечного сечения и свойств материала, предусмотрены соответствующие каталоги. Каталог сечений содержит перечень стандартных прокатных профилей и их характеристики. Кроме того, с помощью несложного конструктора сечений можно создавать необходимые сечения и сохранять их в каталоге. Каталог материалов содержит записи основных видов строительных материалов. Единоразовно записав информацию о материале, пользователь впоследствии может использовать ее для решения новых задач. Просмотр результатов расчета конструкции возможен как в табличной форме, так и визуально на расчетной схеме (рис. 6).

В программе предусмотрен экспорт графики в формат *.dxf, который позволяет проектировщику просматривать и редактировать расчетную схему проекта и эпюры внутренних усилий в ряде прикладных пакетов САПР (в том числе в AutoCAD). В программе предусмотрен модуль для автоматизированного создания отчетов, который позволяет за считанные секунды разработать готовый для печати отчет. В соответствующих диалогах возможна настройка объема и характера данных в отчете.

Одним из путей снижения расхода материала в стержневых железобетонных конструкциях является разработка и использование точных методов расчета, в которых наряду со специфическими свойствами железобетона – трещинами, анизотропией, неупругими свойствами бетона и арматуры – и их изменением в зависимости от уровня внешней нагрузки и режима нагружения учитывались бы также особенности работы статически неопределимых конструкций, связанные с возможностью значительного перераспределения усилий, с учетом влияния продольной оси элементов и других факторов. В программе RADUGA реализовано требование проекта СНБ 5.03.01, согласно которому в общем случае расчет стержневых систем должен рассматриваться с учетом физической и геометрической нелинейности деформирования (рис. 7). В программе реализован метод, по которому решение нелинейной задачи получается в виде последовательности решений линейных задач, сходящихся к результату. Расчетный процессор при расчете железобетонных конструкций использует жесткостные характеристики сечений, полученные в программе БЕТА.

Разработанные программы предоставляют проектировщику комплексное решение по расчету стержневых железобетонных конструкций на основании требований проекта СНБ 5.03.01 «Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования».



5. ОКНО ПРОГРАММЫ RADUGA, ВИД ГРУППЫ КОНСТРУКЦИЙ В ПЕРСПЕКТИВЕ

6. ПРОСМОТР РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАМЫ

7. ОКНО ПРОГРАММЫ RADUGA С ПРИМЕРОМ РАСЧЕТА П-ОБРАЗНОЙ РАМЫ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ