

# "АРБАТ"

## программа для расчета железобетонных строительных конструкций



**Б**ольшинство программных продуктов, предназначенных для расчета элементов железобетонных конструкций, требуют от пользователя информации и выдают результаты в терминах СНиП, то есть оперируют с проверкой отдельных сечений железобетонного элемента. Как правило, с их помощью выполняется проверка или подбор арматуры в отдельных сечениях железобетонных элементов. Но для большинства инженеров информация о несущей способности отдельных сечений носит лишь промежуточный характер, а главный вопрос, на который должна отвечать программа, может быть сформулирован следующим образом:

Обеспечена ли в соответствии с требованиями СНиП несущая способность элемента железобетонной конструкции с заданными размерами, материалом, нагрузками, условиями эксплуатации, размещением арматуры и т.п.?

Именно этот подход реализован в программе "АРБАТ" при решении задач подбора арматуры и проверки несущей способности таких элементов железобетонных конструкций, как неразрезные балки, колонны и плиты, опертые по контуру. Расчеты

Обеспечена ли в соответствии с требованиями СНиП несущая способность элемента железобетонной конструкции с заданными размерами, материалом, нагрузками, условиями эксплуатации, размещением арматуры и т.п.?

выполняются с учетом предельных состояний первой и второй группы для расчетных сочетаний усилий (PCY), выбираемых автоматически в зависимости от заданных расчетных нагрузок в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85 На-

грузки и воздействия и СНиП 2.03.01-84\* Бетонные и железобетонные конструкции.

Подбор и проверки предусмотрены для железобетонных конструкций без предварительного напряжения. Предполагается, что конструкции изготовлены из тяжелого, мелкозернистого или легкого бетонов с применением арматурной стали класса А-I, А-II, А-III, А-IV, А-V и А-VI, арматурной проволоки класса ВР-I или арматуры классов А400С, А500С (предусмотренных документом "Железобетонные конструкции с арматурой классов А500С и А400С / Территориальные строительные нормы г. Москвы / ТСН 102-00").

Кроме указанных функций, "АРБАТ" выполняет в определенной степени и роль справочника, с помощью которого можно получить данные о сортаментах и характеристиках арматуры, нормативных и расчетных сопротивлениях бетона, коэффициентах условий работы бетона и предельных прогибах.

### Концепция разработки

Разработка выполнялась в расчете не только на опытного проектировщика, но и на пользователей не очень высокой квалификации, которые не обязательно ориентируются во всех тонкостях применения довольно сложных нормативных документов, какими являются СНиП 2.03.01-84\* и документы, на которые в СНиП даются внешние ссылки. Пользователь должен быть уверен, что применение специализированной программы избавит его от сомнений относительно полноты и качества выполненных проверок конструкции на соответствие требованиям норм.

Чтобы программа выполняла функции квалифицированной экспертизы, разработчики сознательно отказались от включения в нее режимов работы и проверок, не определенных в СНиП 2.03.01-84\* (например, проверки на трещиностойкость при общем случае нагружения). Реализация таких режимов означала бы, что допускаются отступления от норм или нестрогое следование им. Одновременно программа автоматически запрещает работу с конструктивно неудачными сечениями. С этой целью предусматривается контроль исходных данных, осуществляются проверки на выполнение конструктивных ограничений СНиП (например, правил расстановки арматурных стержней).

Поскольку любой набор нормативных требований, как правило, может быть представлен в форме списка неравенств вида

$$F(S,R) \leq 1, \quad (1)$$

где  $F$  — функция основных переменных,  $S$  — обобщенные нагрузки (нагрузочные эффекты),  $R$  — обоб-

щенные сопротивления, то, ориентируясь на значения функции  $F$ , вводится понятие о коэффициенте использования ограничения ( $K$ ), а критерий проверки представляется в форме

$$\max K \leq 1.$$

Само значение  $K$  при этом определяет для элемента (узла, соединения, сечения и т.п.) имеющийся запас прочности, устойчивости или другого нормируемого параметра качества (фактора). Если требование норм выполняется с запасом, то коэффициент  $K$  равен относительной величине исчерпания нормативного требования (например,  $K = 0,7$  соответствует тридцатипроцентному запасу). Значение  $K > 1$  свидетельствует о нарушении того или иного требования, то есть характеризует степень перегрузки.

Во время проверки конструкции в диалоговых окнах выводится значение  $K_{\max}$  — максимального (то есть наиболее опасного) из обнаруженных значений  $K$  — и указывается тип проверки (прочность, ширина раскрытия трещин и т.п.), при котором указанный максимум реализовался. Это дает пользователю возможность в необходимых случаях оперативно принять решение об изменении поперечного сечения элемента, его армирования или других параметров проектирования.

### Режимы работы

В программе предусмотрено двенадцать информационных и функциональных режимов работы, назначение которых кратко описано ниже. Каждому режиму соответствует кнопка выбора в главном окне программы (рис. 3).

Первые пять режимов являются в некотором смысле вспомогательными и обеспечивают доступ к нормативной и справочной информации. К ним относятся:

- **Класс бетона** (СНиП 2.03.01-84\*) — приведены расчетные (для предельных состояний первой группы), а также расчетные и нормативные (для предельных состояний второй группы) сопротивления бетона по прочности на сжатие (табл. 12, 13 СНиП).
- **Марка бетона** — приведены расчетные (для предельных состояний первой группы), а также расчетные и нормативные (для предельных состояний второй группы) сопротивления бетона по прочности на сжатие для различных марок бетонов. Информация может использоваться для корректировки указанных параметров при экспертизе элементов конструкций, запроектированных в соответствии со СНиП II-21-75.
- **Арматура** — приведены характеристики арматуры (табл. 19 и 22 СНиП 2.03.01-84\*), а также сортамент арматуры.
- **Коэффициенты** — приведены коэффициенты условий работы бе-

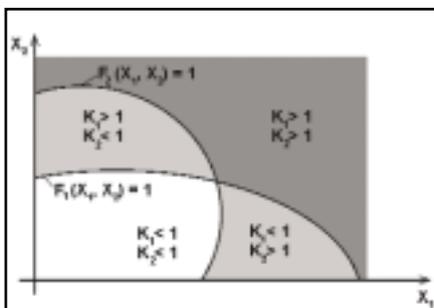


Рис. 1. Геометрическая иллюстрация к набору неравенств (1)

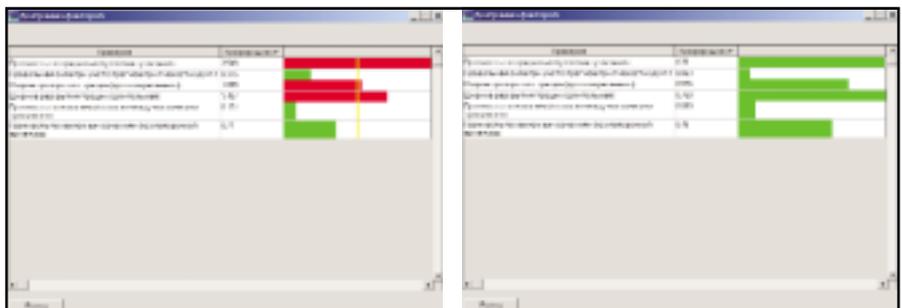


Рис. 2. Представление результатов расчета в виде диаграммы факторов



Рис. 3. Главное окно

тона в зависимости от различных факторов, обуславливающих их введение (табл. 15 СНиП 2.03.01-84\*).

- **Предельные прогибы** — даны таблицы 19, 21, 22 СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" с ограничениями на прогибы элементов конструкций.

Следующие семь режимов объединены в две группы и являются функциональными.

В группу "Экспертиза" входят режимы для проверки конструктивных решений элементов железобетонных конструкций на соответствие требованиям СНиП по прочности и трещиностойкости. К ним относятся:

- **Сопротивление сечений** — в этом режиме строятся кривые взаимодействия, ограничивающие область несущей способности сечения, для пар усилий  $N - M$  (нормальная сила — момент) и  $N - Q$  (нормальная и поперечная силы). В зависимости от состояния маркера "Площади арматуры" на кнопке "Сопротивление сечений" данные об арматуре задаются в виде площадей соответствующей арматуры или числом и диаметром арматурных стержней.
- **Прогиб балки** — вычисляются прогибы в сечениях неразрезной балки согласно требованиям СНиП.
- **Экспертиза балки** — выполняется экспертиза на соответствие требованиям норм (по предельным состояниям первой и второй групп). Рассматривается изгиб в одной силовой плоскости.
- **Экспертиза колонны** — выполняется экспертиза на соответствие требованиям норм (по предельным состояниям первой и второй групп). Рассматривается сжато-изогнутая колонна при одноосном эксцентриситете.
- **Экспертиза плиты** — выполняется экспертиза на соответствие требованиям норм (по предельным состояниям первой и второй групп).

В группу "Подбор арматуры" включены режимы, обеспечивающие автоматический подбор арматуры в балках и колоннах:

- **Подбор арматуры в балке** — выполняется подбор арматуры в

многопролетной железобетонной балке по прочности и трещиностойкости при изгибе в одной силовой плоскости.

- **Подбор арматуры в колонне** — выполняется подбор арматуры в железобетонной колонне по предельным состояниям первой и второй группы.

### Описание режимов экспертизы и подбора

#### Сопротивление сечений

В этом режиме реализована функция определения несущей способности любого из предусмотренных в программе поперечных сечений в зависимости от положения, диаметра и класса арматуры, класса бетона, условий эксплуатации и допустимой ширины раскрытия трещин. В общем случае расчеты выполняются на действие продольной силы, изгибающего момента и поперечной силы, действующих в главных плоскостях инерции. Сечение стержня проверяется по следующим факторам:

- прочность при совместном действии продольной силы и изгибающего момента;
- прочность при совместном действии продольной и поперечной сил;
- трещиностойкость при совместном действии продольной силы и изгибающего момента;
- трещиностойкость при совместном действии продольной и поперечной сил.

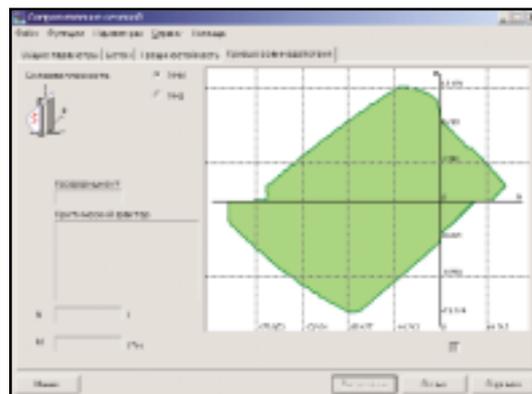
В качестве исходных данных задаются форма и размеры сечения, характеристики и размещение в сечении продольной и поперечной арматуры, геометрические и расчетные длины элементов, случайные эксцентриситеты, вид, класс и коэффициенты условий работы бетона, условия твердения. Предусмотрена возможность проверки с учетом второго предельного состояния (расчет по трещиностойкости), а также размещение арматуры в два ряда.

В процессе ввода исходных данных обеспечивается возможность контроля формы сечения и положения арматуры в сечении.

Результаты расчета отображаются в виде *Кривой взаимодействия*, ограничивающей область несущей способности сечения при действии на него пар усилий  $N - M$  (нормальная сила и изгибающий момент) или  $N - Q$  (нормальная и поперечная силы). Кривые взаимодействия окружают начало координат замкнутой линией, внутри которой располагаются точки с допустимыми парами рассматриваемых усилий. Пара усилий считается допустимой, когда коэффициент использования несущей способности сечения  $K_{max} \leq 1$ . При этом остальные усилия в сечении полагаются равными нулю.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область изменения усилий. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений усилий и соответствующая этим значениям величина коэффициента использования ограничений. Кроме того, указывается и тип проверки, при котором этот коэффициент реализовался.

Отметим, что во многих случаях (в частности, при несимметричном армировании) область несущей способности является *невыпуклой* (см. рис. 4). Последствия этого факта могут носить *катастрофический характер*, поскольку большинство проектировщиков убеждены, что конструкция, которая удовлетворяет требованиям СНиП под действием двух различных загрузок, удовлетворяет также всем требованиям норм, если она находится под действием, например, загрузки, являющегося полусуммой этих загрузок. Невыпуклость области несущей способности говорит о том, что это не всегда верно.



↑ Рис. 4. Кривые взаимодействия

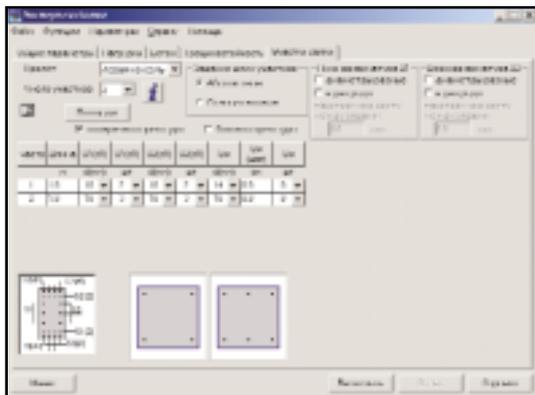
### Экспертиза балки

В этом режиме проверяется прочность и трещиностойкость многопролетной неразрезной балки постоянного сечения в соответствии с требованиями СНиП. Рассматривается изгиб балки в одной силовой плоскости под действием распределенных и сосредоточенных нагрузок. Нагрузки объединяются в загрузки, которые по физическому происхождению и свойствам могут быть классифицированы как постоянные, временные длительно действующие, кратковременные, ветровые и снеговые. Проверки всех сечений выполняются для автоматически формируемых расчетных сочетаний усилий (PCY). Коэффициенты PCY, учитывающие характер загрузки, назначаются программой в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия".

Предполагается, что балка не испытывает действия продольных сил, и учитывается влияние только двух силовых факторов — изгибающего момента и поперечной силы.

Расчеты могут быть выполнены для балок прямоугольного, таврового и двутаврового сечений. Указывается конкретная схема расположения арматурных стержней. На отдельных участках по длине балки число стержней и их диаметр могут быть различными.

Экспертиза балки выполняется для нескольких загрузений, в состав которых могут входить сосредоточенные и распределенные нагрузки. Одновременно с вводом нагрузок отображаются эпюры изгибающих моментов и поперечных сил (рис. 6).



↑ Рис. 5. Задание информации об армировании балки

Результаты экспертизы отображаются в виде описанной выше диаграммы факторов.

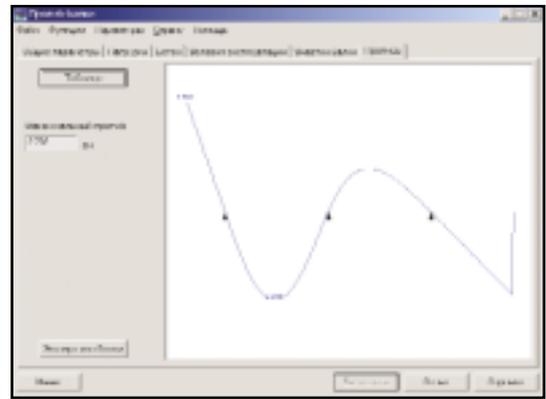
### Прогиб балки

Режим предназначен для вычисления прогибов при изгибе многопролетной балки под действием заданной нагрузки. Расчет прогибов осуществляется для прямоугольного, таврового и двутаврового сечений согласно требованиям п. 4.31 СНиП. Определение кривизны балки выполняется с учетом трещин в растянутой зоне согласно п. 4.27 СНиП. Результаты расчета отображаются в виде эпюры (рис. 7) или в табличном виде.

Задание данных о конструктивном решении балки аналогично режиму "Экспертиза балки". Специфика состоит лишь в том, что прогибы вычисляются только для одного загрузения.

### Экспертиза колонны

В этом режиме выполняется проверка колонн постоянного сечения по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями предельных состояний первой и второй группы. Рассматривается внецентренное сжатие-растяжение с одноосным эксцентриситетом. Проверки всех сечений выполняются для автоматически формируемых расчетных сочетаний усилий (PCY). Коэффициенты PCY, учитывающие характер загрузки, назначаются программой в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия". При этом в сечениях могут действовать такие



↑ Рис. 7. Прогиб балки

силовые факторы, как нормальная сила, момент, поперечная сила.

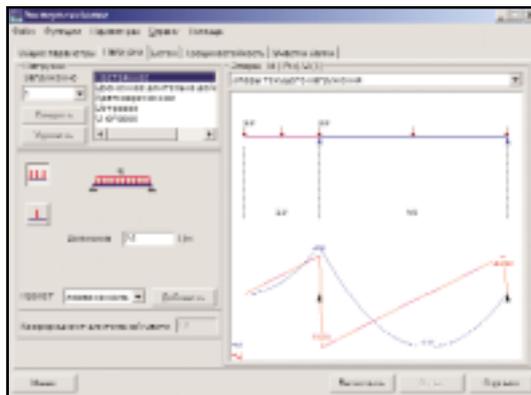
Расчеты могут быть выполнены для колонн прямоугольного, двутаврового и кольцевого сечений. Предполагается, что положение арматурных стержней в сечении задано и является постоянным по длине участка, при этом пользователь сам назначает количество и длину участков, на которые делится колонна.

Подготовка данных о конструктивном решении и схеме армирования аналогична режиму "Экспертиза балки".

### Экспертиза плиты

В этом режиме выполняется экспертиза заданного конструктивного решения прямоугольного поля монолитной сплошной плиты по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями предельных состояний первой и второй групп. В зависимости от соотношения длин сторон различаются плиты, изгибаемые в одном направлении, и плиты, изгибаемые в двух направлениях. Поле плиты может быть как самостоятельным конструктивным элементом здания или сооружения (перекрытие прямоугольного проема), так и элементом ребристой плиты. Несущая способность плиты определяется из условий предельного равновесия.

Для плит, изгибаемых в одном направлении, условия опирания задаются только на двух сто-



↑ Рис. 6. Нагрузки на балку

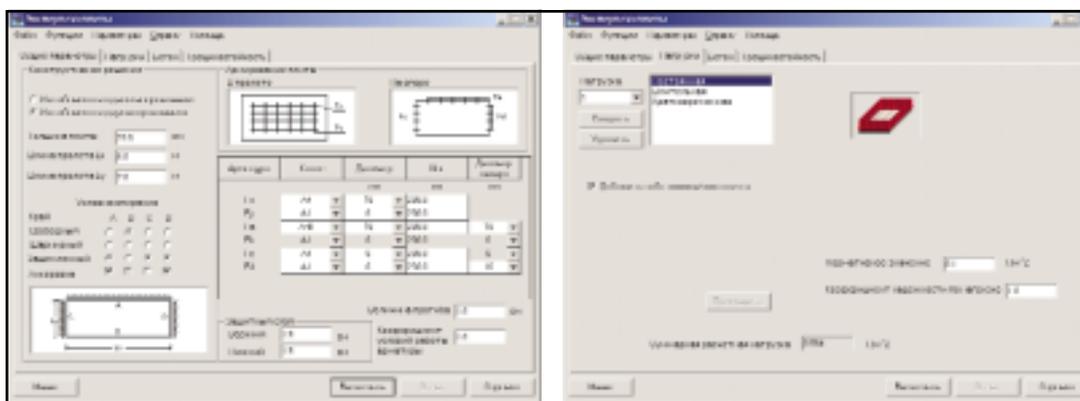


Рис. 8. Задание данных для экспертизы плиты

ронах. Как минимум одна сторона плиты должна быть закреплена. Вторая сторона плиты может быть закреплена, шарнирно оперта или свободна от опор. Эта комбинация условий опирания позволяет моделировать крайние и средние пролеты неразрезных "балочных" плит, при этом второй и последующие пролеты неразрезной плиты не различаются, во всех случаях распределение внутренних усилий принимается как для второго от края плиты пролета. Кроме того, эти условия опирания позволяют провести экспертизу плиты как отдельного конструктивного элемента во всех практически важных случаях.

Для плит, изгибаемых в двух направлениях, стороны могут быть закреплены или опираться шарнирно. При этом допускается, что одна из меньших сторон плиты может быть свободна от опор.

Нагрузки во всех случаях приняты равномерно распределенными по полю плиты (рис. 8).

### Подбор арматуры в балках и колоннах

В этих режимах выполняется подбор арматуры в многопролетных неразрезных балках и колоннах постоянного сечения по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями СНиП по предельным состояниям первой и второй группы. В случае балки рассматривается плоский изгиб под действием распределенных и сосредоточенных нагрузок, объемных в загрузения, которые по физическому происхождению и свойствам могут быть классифицированы как постоянные, временные длительно действующие, кратковременные, ветровые и снеговые. Подбор выполняется для автоматически формируемых расчетных сочетаний усилий (PCY). Коэффициенты PCY, учитывающие характер загрузки, назначаются программой в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия".

Расчеты выполняются для балок прямоугольного, таврового и двутаврового сечений. Предполагается, что балка не испытывает действия продольных сил, и учитывается влияние только изгибающих моментов и поперечных сил.

В случае колонны рассматривается внецентренное растяжение-сжатие при одноосном эксцентриситете. Расчеты могут быть выполнены для колонн прямоугольного, двутаврового и кольцевого сечений. При этом в сечениях могут действовать нормальная сила,

момент и поперечная сила.

Результатом расчета являются площади верхней, нижней и боковой продольной арматуры на участках, а также площадь и шаг расположения стержней поперечной арматуры. Предполагается, что подобранная арматура является постоянной по длине участка, при этом

пользователь сам назначает количество и длину участков, на которые делится пролет.

Результаты представляются в виде эпюр или в табличной форме. Если на участке арматуру подобрать не удалось, то такой участок выделяется красным цветом. Информацию о причинах, по которым это произошло, можно получить в таблице с результатами подбора.

Результаты, полученные с помощью программы "АРБАТ" (площадь арматуры), гарантируют, что существует расстановка арматурных стержней, при которой выполнены все требования СНиП по прочности и трещиностойкости. Выполнение конструирования по результатам расчета в программе не производится, однако предусмотрена возможность перехода из режима подбора в режимы экспертизы и прогибов. При переходе выполняется автоматическая расстановка стержней (возможно, далекая от оптимальной), которую пользователь может оперативно изменить и выполнить экспертизу, то есть проверить элемент на соответствие требованиям СНиП с учетом диаметров и положения арматурных стержней.

*Инна Белокопытова,  
Эдуард Криксунов,  
Михаил Микитаренко,  
Михаил Перельмутер*

**SCAD Soft**  
Тел.: (044) 243-8351  
E-mail: [scad@scadgroup.com](mailto:scad@scadgroup.com)  
Internet: <http://www.scadgroup.com>

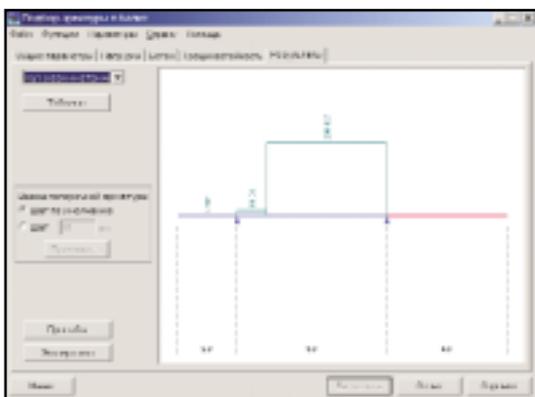


Рис. 9. Результаты подбора арматуры