


Рис. 5.12-7. Диалоговое окно **Качество триангуляции**



Рис. 5.12-8. Диалоговое окно **Настройки**

Результаты оценки качества отображаются в виде цветовой шкалы (рис. 5.12-7). Зеленым цветом на схеме отмечаются элементы, у которых значение исследуемого фактора лежит в пределах установленной нормы, а красным — выходит за эти пределы. Диапазон допустимых значений «От и До» задается в одноименных полях ввода диалогового окна **Настройки** (рис. 5.12-8), которое вызывается нажатием кнопки



**Настройки цветовой шкалы** — .

Принципы управления цветовой шкалой не отличаются от цветowych шкал визуализации других параметров расчетной модели и описаны в разделе 4.3. Вывод на схеме значений фактора выполняется нажатием кнопки **Оцифровка** — , расположенной в окне цветовой шкалы.

По умолчанию результаты оценки качества отображаются в виде «проволочной» модели. Для более наглядной визуализации можно воспользоваться операцией **Удаление линий невидимого контура** на панели фильтров .

## Повышение качества триангуляции



Если качество триангуляции (оценить его можно с помощью операции ) оказывается неудовлетворительным, то его можно попытаться повысить, нажав в инструментальной панели кнопку . При этом программа произведет попытку сместить те узлы, которые были порождены в процессе создания конечноэлементной сетки, таким образом, чтобы улучшить показатели качества.

## Экспорт контура триангуляции в программу GMSH



Эта операция используется для сохранения контура триангуляции в формате программы **GMSH** (свободно распространяемая программа триангуляции). После выполнения триангуляции этой программой полученную сетку можно импортировать в **SCAD** (см. раздел 32.1).

## 5.13. Сборка схемы из нескольких схем



### — Режим сборки

Этот режим позволяет выполнить формирование расчетной схемы путем ее сборки из нескольких заранее подготовленных схем и/или групп элементов (создание групп и работа с ними описаны в разделе 6.6). При этом схемы, используемые при сборке, могут включать кроме геометрии и другие характеристики, например, связи, жесткости, нагрузки и т. п., которые в

## 5. Создание расчетной схемы

результате сборки попадут в результирующую схему. Для удобства схему, к которой присоединятся другие схемы, будем называть основной, а присоединяемые схемы — подсхемами. При этом в качестве основной схемы может быть использован даже один узел, а в качестве подсхемы — любая другая схема, в том числе и основная, а также группы элементов.

Инструментальная панель в режиме сборки (рис. 5.13-1) включает следующие кнопки:





-  — выбор способа сборки;
-  — активировать основную схему;
-  — активировать присоединяемую схему;
-  — выполнить сборку.



Рис. 5.13-1. Инструментальная панель режима сборки



Рис. 5.13-2. Инструментальная панель окна подсхемы в режиме сборки

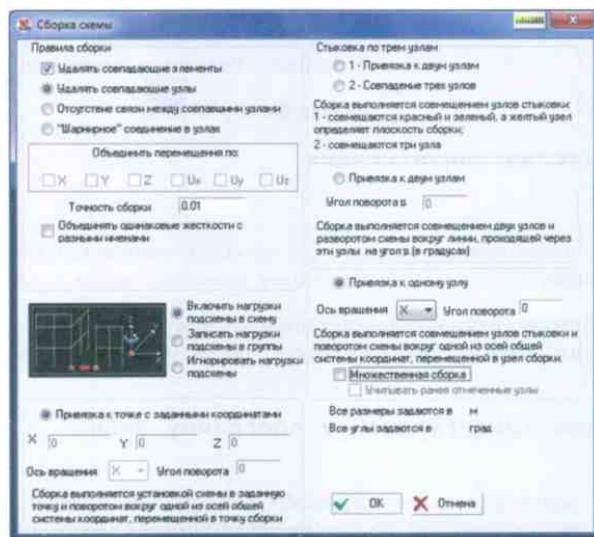







Рис. 5.13-3. Диалоговое окно Сборка схемы

Подсхема, участвующая в сборке, загружается в отдельное окно. Инструментальная панель окна подсхемы (рис. 5.13-2) включает кнопку выбора группы элементов, используемую в качестве подсхемы — , кнопку загрузки расчетной схемы-подсхемы — , а также кнопку выбора в качестве подсхемы одной из ранее загруженных расчетных схем — . В последнем случае это может быть и основная схема, одновременно используемая как подсхема.

Рекомендуется придерживаться следующего порядка выполнения сборки:

- в разделе **Схема** нажать кнопку  — **Режим сборки**, в результате чего в инструментальной панели главного окна появится панель режима сборки (рис. 5.13-1), а в рабочем поле — окно для загрузки подсхемы;
- воспользовавшись одной из кнопок в инструментальной панели окна подсхемы, загрузить подсхему (для загрузки в качестве подсхемы другой расчетной схемы используется стандартное диалоговое окно **Открыть**);
- нажать кнопку  — **Выбор способа сборки**;
- в диалоговом окне **Сборка схемы** (рис. 5.13-3) назначить способ и правила сборки;
- выйти из диалогового окна нажатием кнопки **ОК**;
- в зависимости от выбранного способа сборки отметить на схеме и подсхеме один, два или три узла стыковки и нажать кнопку **ОК** в инструментальной панели главного окна.

После выполнения сборки в окне основной схемы выводится результирующая схема и диалоговое окно **Результат**, в котором предлагается выбрать вариант продолжения работы (рис. 5.13-4).

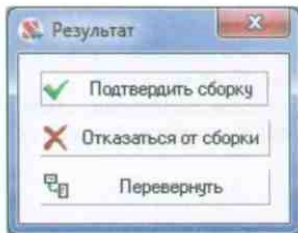


Рис. 5.13-4. Диалоговое окно **Результат**

Первый вариант продолжения работы — **Подтвердить сборку**. В соответствии с установленными правилами сборки будет образована новая основная схема как результат объединения основной схемы и подсхемы.

Второй вариант — **Отказаться от сборки**. В результате основная схема останется в том же состоянии, что и до сборки.

Третий вариант — **Перевернуть** (подсхему). Подсхема займет новое положение относительно узла/узлов стыковки, которое образуется поворотом на 180° вокруг узлов стыковки или заданной ранее оси вращения (при сборке с одним узлом стыковки).

Если в качестве подсхемы используются группы элементов (допускается сборка одновременно с несколькими группами), то их выбор выполняется в диалоговом окне **Группы элементов** (рис. 5.13-5). Отмеченные в списке группы выделяются на расчетной схеме красным цветом. После выхода из диалогового окна нажатием кнопки **ОК** эти группы будут загружены в окно подсхемы.

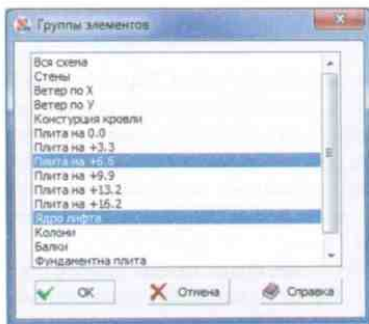


Рис. 5.13-5. Диалоговое окно **Группы элементов**

## Способы сборки

**Стыковка по трем узлам** предполагает выбор трех узлов на схеме и подсхеме и может осуществляться двумя способами — **Примыкание к двум узлам** или **Совпадение трех узлов**.

Способ сборки назначается активацией соответствующего маркера в группе **Стыковка по трем узлам**.

При использовании первого способа привязка подсхемы выполняется к двум узлам — красному и зеленому, а желтый узел определяет плоскость (направление) сборки. В этом случае схема может занимать два положения относительно узлов привязки, поэтому после выполнения сборки полезной может оказаться операция **Перевернуть**, описанная выше.

Второй способ сборки предполагает совпадение трех узлов схемы и подсхемы, что определяет положение подсхемы однозначно.

**Привязка к двум узлам** осуществляется совмещением одноцветных узлов стыковки на схеме и подсхеме. Очевидно, что в этом случае подсхема может занимать любое положение относительно узлов стыковки, и для того, чтобы определить его однозначно, необходимо задать угол поворота подсхемы вокруг оси, проходящей через эти узлы.

Если при сборке по двум узлам расстояния между соответствующими узлами схемы и подсхемы не равны, то подсхема масштабируется с коэффициентом, равным отношению расстояний между стыковочными узлами подсхемы и схемы.

**Привязка к одному узлу** осуществляется совмещением узлов стыковки на схеме и подсхеме с одновременным разворотом подсхемы на заданный угол вокруг указанной оси, проходящей через узел стыковки и параллельной соответствующей оси общей системы координат. Если активировать маркер **Множественная сборка**, то на основной схеме можно отметить несколько узлов привязки подсхемы, к каждому из которых подсхема будет привязана выбранным на ней узлом.

**Привязка к точке с заданными координатами** осуществляется аналогично стыковке по одному узлу. Роль узла в основной схеме выполняет точка с заданными координатами, к которой присоединяется выбранный узел подсхемы.

### Правила выполнения сборки

Сборка может выполняться по различным правилам и с заданной точностью совмещения узлов. Точность совмещения определяет, какие узлы считать совпадающими. Если после выполнения сборки расстояние между узлом схемы и узлом подсхемы меньше или равно установленному значению точности, то в режиме объединения совпадающих узлов такие узлы совмещаются в один узел.

При активной опции **Удалять совпадающие элементы** в диалоговом окне **Сборка схемы** (см. рис. 5.13-3) из двух совпавших элементов основной схемы и подсхемы (элементы считаются совпавшими, если совпадают все их узлы) в результирующей схеме остается элемент основной схемы. У этого элемента все характеристики будут такими же, как у элемента основной схемы. К нагрузкам элемента основной схемы будут добавлены нагрузки совпавшего элемента из подсхемы. Если опция **Удалять совпадающие элементы** не активна, то в результирующей схеме будут присутствовать одновременно все элементы схемы и подсхемы.

При активной опции **Удалять совпадающие узлы** из результирующей схемы удаляются все узлы подсхемы, которые совпали с узлами основной схемы. Связи и нагрузки, приложенные в узлах, будут соответствовать заданным в основной схеме.

При активной опции **Отсутствие связи между совпавшими узлами** в результирующей схеме будут присутствовать все узлы обеих схем без какой-либо связи между ними.

При активной опции **"Шарнирное" соединение в узлах** между совпавшими узлами будут установлены шарниры (ползуны) по направлениям, на которые не наложены связи. В результате по направлениям связей задается объединение перемещений между узлом схемы и подсхемы. Связи задаются с помощью соответствующих маркеров в группе **Направление связей**.

При выполнении сборки производится упаковка жесткостей присоединяемых подсхем. С помощью маркера **Объединять совпадающие жесткости с разными именами** можно "влиять" на процесс упаковки.



**Показатель точности совмещения узлов при сборке является самостоятельным параметром и может отличаться от величины, определяющей точность совпадения узлов в схеме.**

### Работа с нагрузками

Если в сборке участвуют схемы, к которым были приложены нагрузки, то при назначении правил выполнения сборки следует указать, как поступать с нагрузками.

Предлагается три способа учета нагрузок подсхем:

- включение нагрузок, приложенных к подсхемам, в соответствующие загрузки основной схемы;
- запись каждого нагружения подсхем в виде группы нагрузок;
- игнорирование нагрузок подсхем.

Нагрузки, приложенные к основной схеме, остаются всегда. Если одна или несколько подсхем имеют больше нагружений, чем основная схема, то эти их загрузки добавляются как группы нагрузок.

При переносе нагрузок с подсхемы в результирующую схему следует учитывать, что операции объединения совпадающих узлов и элементов (они выполняются, если включены соответствующие маркеры в диалоговом окне **Сборка схемы**) имеют приоритет и выполняются раньше операций переноса нагрузок. Следовательно, если нагрузки в подсхеме заданы в узлах, совпадающих с узлами основной схемы, то после удаления узлов подсхемы будут удалены и нагрузки. В тех случаях, когда нагрузки должны быть учтены, следует при назначении правил сборки отключить опции объединения совпадающих объектов, выполнить сборку, а затем удалить совпадающие узлы и элементы, воспользовавшись для этого соответствующими режимами в разделе **Узлы и Элементы** инструментальной панели.

Если к узлам или элементам основной схемы, совпадающим с объектами подсхемы, не приложены нагрузки, то проблему переноса нагрузок можно решить, поменяв статус схем при сборке, т. е. принять за основную схему подсхему и наоборот. Эти рекомендации будут полезными и в тех случаях, когда в сборке участвуют схемы, состоящие из одних узлов, к которым приложены нагрузки. Как правило, они являются результатом выполнения операции сохранения нагрузок от фрагмента схемы в качестве самостоятельной схемы (см. разд. **Анализ результатов расчета нагрузок от фрагмента схемы**).



**Недопустимо включение динамических воздействий подсхемы в статические загрузки основной схемы.**

**При объединении динамических нагрузок подсхемы и основной схемы будут добавлены только массы.**

### 5.14. Копирование расчетной схемы



Рассмотрим еще один эффективный способ создания расчетной схемы, действие которого основано на копировании с заданными шагом и направлением схемы-прототипа. Копировать

можно как готовую схему, т. е. с введенными жесткостными характеристиками, шарнирами, связями, нагрузками и т. п., так и схему, для которой задана только часть характеристик.

Вызов режима копирования выполняется одноименной кнопкой из раздела **Схема**. Копирование может выполняться по различным правилам.

Простейший случай — схема просто повторяется заданное количество раз. В процессе повторений выполняется контроль совпадения узлов и элементов и, если был установлен маркер исключения совпадающих объектов, то они удаляются из результирующей схемы.

При копировании схемы с выбранными (отмеченными) узлами и элементами выполняется преобразование типа выбранных объектов по следующим правилам:

- если в схеме-прототипе были выбраны узлы, из каждого такого узла порождается стержневой элемент, соединяющий его с узлом-аналогом на копии;
- если в схеме-прототипе были выбраны стержневые элементы, каждый выбранный стержень будет порождать пластинчатый элемент (трехузловой — тип 42 или четырехузловой — тип 44), размер которого в направлении копирования будет равен заданному шагу копирования;
- если в схеме-прототипе были выбраны пластинчатые элементы, каждый выбранный элемент будет порождать объемный элемент (тип 36, 33 или 34), размер которого в направлении копирования будет равен заданному шагу копирования (см. разд. 5.16).

Правила преобразования выбранных объектов будут выполняться и для любой их комбинации.

Управление режимом копирования выполняется в диалоговом окне (рис. 5.14-1) **Копирование схемы**, в котором устанавливается направление копирования — по прямой вдоль осей общей системы координат или по дуге окружности вокруг заданной оси (ось вращения проходит через начало общей системы координат). В обоих случаях задаются шаги повторений прототипа и количество повторений для каждого шага, а также назначаются правила «обслуживания» копии. При копировании по дуге в качестве шага вводится центральный угол.

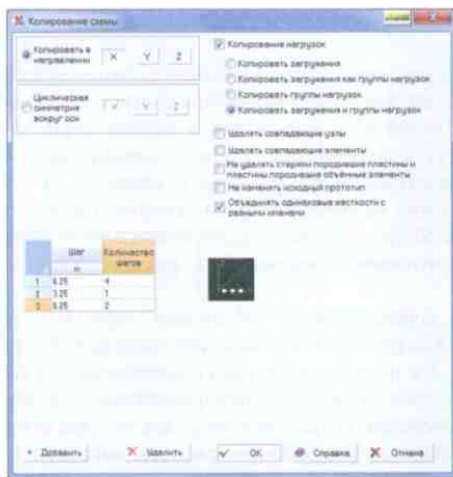


Рис. 5.14-1. Диалоговое окно

### Копирование схемы

- **Копирование нагрузок**, т. е. перенос из схемы-прототипа нагрузок на схемы-копии. Предусмотрены следующие варианты копирования нагрузок:
  - **Копировать загрузения** — в копии переносятся только загрузения, заданные в прототипе;
  - **Копировать загрузения как группы нагрузок** — переносятся только загрузения, заданные в прототипе, которые в копии представлены как группы нагрузок;
  - **Копировать группы нагрузок** — в копии переносятся только группы нагрузок, заданные в прототипе;

- **Копировать загрузки и группы нагрузок** — в копии переносятся как загрузки, так и группы нагрузок.
- **Не включать совпадающие узлы** — если в результате копирования появятся узлы с одинаковыми координатами, то в результирующей схеме из них останется только один узел. Два узла считаются совпадающими, если расстояние между ними меньше величины, заданной пользователем в диалоговом окне **Настройка параметров среды** (см. раздел меню **Настройки**);
- **Не включать совпадающие элементы** — если в результате копирования появятся элементы, все узлы которых совпадают, то в результирующей схеме из них останется только один элемент;
- **Не удалять стержни, породившие пластины** — этот маркер будет доступен, если в схеме есть отмеченные стержни. При активном маркере отмеченные стержни не удаляются из расчетной схемы;
- **Не изменять исходный прототип** — этот пункт позволяет сохранить схему-прототип без изменений в тех случаях, когда удаляются стержни, порождающие пластины;
- **Объединять совпадающие жесткости с одинаковыми именами** — при копировании схемы производится упаковка жесткостей; данный маркер позволяет "влиять" на процесс упаковки.

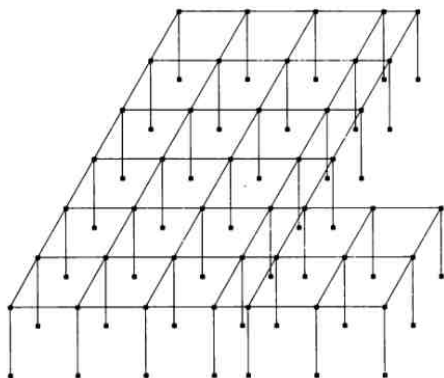


Рис. 5.14-2. Схема-прототип

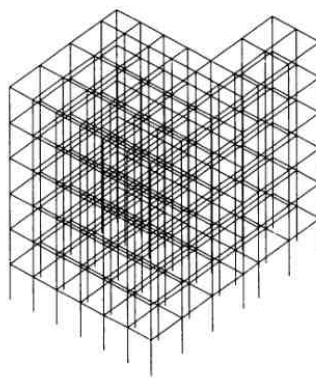




Рис. 5.14-3. Схема после операции копирования

Копирование схем возможно с порождением новых элементов и без порождения новых элементов, порядок действий в этих случаях несколько различный.

При копировании схемы *без порождения новых элементов*:

- в разделе **Схема** нажатием кнопки  активировать режим копирования;
- в диалоговом окне **Копирование схемы** (рис. 5.14-1) назначить параметры копирования, правила обслуживания копий и нажать кнопку **ОК**;
- после выполнения копирования подтвердить результаты работы или отказаться от них.

При копировании *с порождением новых элементов*:

- воспользовавшись группой кнопок управления выбором элементов и узлов , расположенной в левом углу строки состояния (или на панели **Управление выбором**), выбрать на прототипе узлы, из которых следует породить стержни, стержневые элементы, которые

должны порождать пластины, и пластины, из которых следует порождать объемные элементы;

- в разделе **Схема** нажатием кнопки  активировать режим копирования;
- в диалоговом окне **Копирование схемы** назначить параметры копирования, правила обслуживания копий и нажать кнопку **ОК**;
- после выполнения копирования подтвердить результаты работы или отказаться от них.



Рис. 5.14-4. *Схема-прототип*

Рассмотрим несколько примеров выполнения операции копирования. В первом случае скопируем 5 раз схему-прототип (рис. 5.14-2) в направлении оси Z с шагом 3 м. Результирующая схема (развернутая для наглядности на угол 60°) показана на рис. 5.14-3.

В следующем примере в качестве схемы-прототипа использована стержневая конструкция, верхний пояс которой представляет собой параболу (рис. 5.14-4).

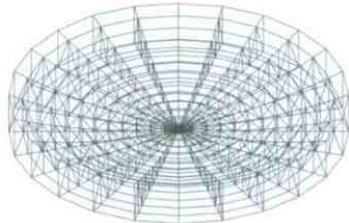


Рис. 5.14-5. *Схема-результат копирования прототипа с порождением стержней*

Копирование выполнялось 24 раза поворотом вокруг оси Z на угол 15°. Из каждого отмеченного узла порождался стержень. Результат работы функции представлен на рис. 5.14-5.

Если в схеме-прототипе, кроме узлов, будут выбраны и стержни верхнего пояса, то в результате копирования получим схему, изображенную на рис. 5.14-6. Обратите внимание — каждый выбранный стержень породил пластину.

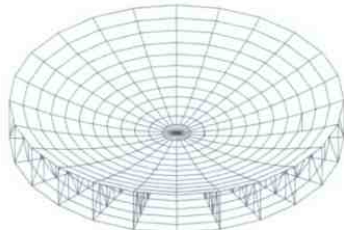


Рис. 5.14-6. *Схема-результат копирования прототипа с порождением стержней и пластин*

В рассмотренном способе копирования операции выполняются только над полной расчетной схемой, т. е. прототип не может быть фрагментом схемы.

Вопросы порождения в процессе копирования объемных элементов рассматриваются в разделе 5.16.

### 5.15. копирование фрагмента схемы



Кроме копирования полной схемы, возможно и копирование её фрагмента. В качестве фрагмента рассматривается любая часть схемы, состоящая из выбранных (отмеченных) элементов. При копировании фрагмента не выполняется порождение стержней из выбранных узлов, пластин — из выбранных стержней и объемных элементов — из выбранных пластин. В диалоговом окне **Копирование фрагмента схемы** задаются шаги повторений выбранного фрагмента и количество




повторений для каждого шага, а также назначаются правила «обслуживания» копии. При копировании по дуге за шаг принимается центральный угол.

### 5.16. Формирование расчетных схем из объемных элементов

Операция копирования может использоваться и для формирования расчетных схем из объемных элементов. В этом случае прототипом является схема из пластинчатых элементов. Для образования объемных элементов используется правило: отмеченная на прототипе пластина порождает объемный элемент. При этом если на прототипе выбраны узлы, стержни и пластины, то будет создана комбинированная схема из стержневых, пластинчатых и объемных элементов.

В качестве примера рассмотрим формирование расчетной схемы из объемных элементов на основе прототипа, приведенного на рис. 5.16-1 (прототип получен путем автоматической триангуляции заданной области, лежащей в плоскости XOY).

Выберем все элементы прототипа и активируем функцию копирования в разделе **Схема** нажатым клавиши . В диалоговом окне **Копирование схемы** установим направление копирования — Z, количество повторений прототипа и шаг. После нажатия кнопки **ОК** будет сформирована расчетная схема, приведенная на рис. 5.16-2.

Аналогичным образом можно сформировать схему и путем копирования прототипа по дуге окружности. При этом следует так определить точку начала осей общей системы координат, чтобы ось вращения не пересекала элементы прототипа.

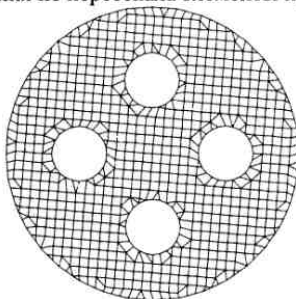


Рис. 5.16-1. Расчетная схема из пластинчатых элементов, используемая в качестве прототипа

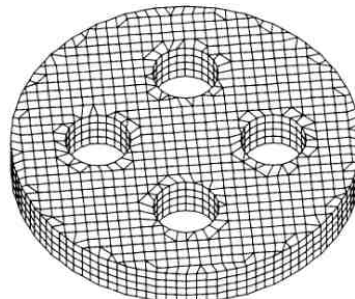


Рис. 5.16-2. Расчетная схема из объемных элементов

### 5.17. Геометрические преобразования



Набор геометрических преобразований позволяет модифицировать геометрию расчетной схемы или ее фрагмента путем изменения координат узлов. Набор включает: перенос координат узлов, разворот вокруг заданной оси, масштабирование и зеркальное отражение.

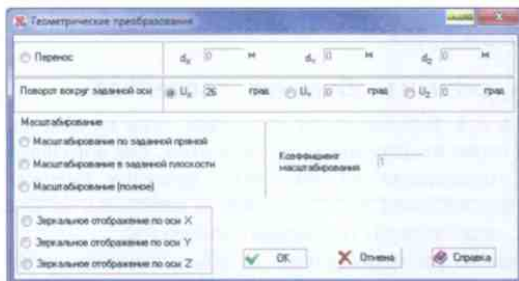


Рис. 5.17-1. Диалоговое окно  
Геометрические преобразования

### Перенос

С помощью этой операции выполняется перенос узлов на заданное расстояние от исходного положения. Если на схеме не выбран ни один узел, то перенос будет реализован для всей схемы. В тех случаях, когда на схеме выбрана группа узлов, будут перенесены только узлы группы. Для выполнения функции следует активировать опцию **Перенос**, ввести приращения координат и подтвердить назначения нажатием кнопки **ОК** в диалоговом окне.

### Поворот вокруг заданной оси

С помощью этой операции выполняется поворот схемы или группы узлов на заданный угол вокруг указанной оси. Порядок выполнения традиционный — активировать опцию с именем нужной оси, ввести угол и нажать кнопку **ОК**. Для того чтобы получить корректный результат, необходимо контролировать положение начала общей системы координат, вокруг осей которой выполняется поворот. Напомним, что начало системы координат может занимать любое место в схеме и даже вне ее, а перенос в нужный узел выполняется функцией **Перенос начала системы координат в заданный узел** в разделе **Узлы и Элементы** (если узла нет, его можно создать).

Несмотря на кажущуюся простоту, у этой операции есть много «подводных камней». При выполнении поворота группы необходимо следить за тем, чтобы не возникало пересечений поворачиваемых элементов с неподвижной частью схемы, для пластинчатых элементов возможно изменение формы и потеря плоскостности, а неправильное назначение точки начала координат может привести к неожиданному результату.

### Масштабирование вдоль заданной прямой

Эта операция используется для изменения размеров расчетной схемы или ее фрагмента, заданного путем отметки узлов, вдоль указанного направления. Направление масштабирования определяется прямой, проходящей через два узла. Для выполнения масштабирования следует активировать в диалоговом окне нужную опцию, ввести коэффициент масштабирования (положительное число) и нажать кнопку **ОК**. Если выбрать курсором первый узел прямой, определяющей направление масштабирования, и протянуть резиновую нить до второго узла, масштабирование будет выполнено после фиксации второго узла. При назначении прямой не обязательно, чтобы определяющие ее узлы принадлежали набору узлов, для которого выполняется масштабирование. Указанная прямая определяет только направление.

Не забудьте проконтролировать результаты выполнения операции, так как возможны пересечения элементов, а также нарушения их формы.

Кнопка вызова операций расположена в разделе **Схема** инструментальной панели, и нажатие ее открывает диалоговое окно (рис. 5.17-1) **Геометрические преобразования**.

Если преобразования относятся ко всей схеме, то они будут выполнены после нажатия кнопки **ОК** диалогового окна. При преобразовании фрагмента (группы узлов) следует сначала выбрать (отметить) узлы, а затем назначить и выполнить необходимую операцию.

### Масштабирование в заданной плоскости

Работа с этой операцией аналогична предыдущей. Масштабирование выполняется для всей схемы или выбранной группы узлов в плоскостях, параллельных заданной плоскости. Рекомендуется следующий порядок действий.

Для всей схемы:

- активировать в диалоговом окне опцию масштабирования в заданной плоскости;
- ввести коэффициент масштабирования;
- нажать кнопку **ОК**;
- выбрать на схеме три узла, лежащих в плоскости масштабирования.

После выбора третьего узла масштабирование выполняется автоматически.

Для группы узлов:


- выбрать (отметить) на схеме узлы, для которых выполняется масштабирование;
- вызвать режим геометрических преобразований;
- активировать в диалоговом окне опцию масштабирования в заданной плоскости;
- ввести коэффициент масштабирования;
- нажать кнопку **ОК**;
- выбрать на схеме три узла, лежащих в плоскости масштабирования или параллельной ей плоскости.

После отметки третьего узла масштабирование выполняется автоматически.

### Зеркальное отражение по заданной оси

Эти операции выполняют зеркальное отражение всей схемы или ее части, выделенной как группа отмеченных узлов, зеркально вдоль выбранной оси. Как и в предыдущих случаях, предупреждаем об опасностях, связанных с возможным изменением направления местных осей элементов.



После геометрических преобразований полезно выполнить экспресс-анализ расчетной схемы (кнопка  в разделе **Управление инструментальной панели**), в котором предусмотрен поиск стержневых элементов нулевой длины и пластинчатых элементов нулевой площади.

### Масштабирование (полное)

Здесь выполняется масштабирование схемы или ее части, выделенной как группа отмеченных узлов, по всем направлениям вдоль осей общей системы координат в соответствии с заданным коэффициентом масштабирования.

Масштабирование будет выполнено автоматически после нажатия кнопки **ОК** в диалоговом окне.

### Примеры выполнения геометрических преобразований

Рассмотрим несколько примеров использования геометрических преобразований, связанных с операциями поворота, масштабирования и зеркализации.

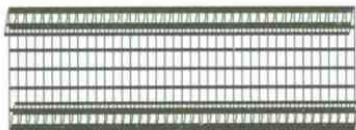


Рис. 5.17-2. Исходная схема балки

#### Пример 1

Операцию поворота рассмотрим на примере Z-образной балки, которую получим из исходной схемы на рис. 5.17-2.

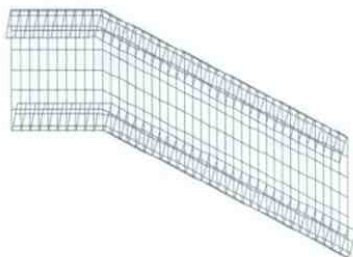


Рис. 5.17-3. Схема балки после выполнения поворота группы узлов на  $12^\circ$

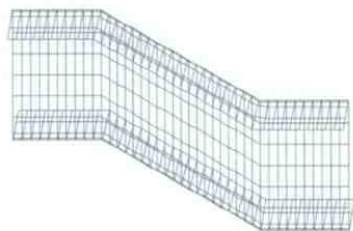


Рис. 5.17-4. Схема балки после выполнения поворота другой группы узлов на  $-12^\circ$

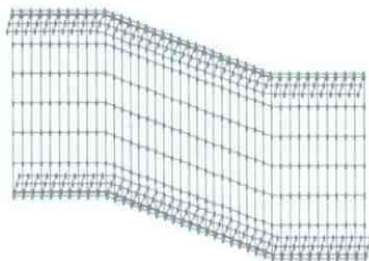


Рис. 5.17-5. Схема балки в результате масштабирования вдоль заданной прямой

«Изогнем» балку на  $12^\circ$  вокруг оси Z на расстоянии 10 м от левого края балки. Для этого требуется:

- перенести начало общей системы координат в один из узлов, лежащих на линии перегиба;
- выбрать узлы от линии перегиба до правого края балки;
- вызвать **Геометрические преобразования**;
- активировать операцию поворота вокруг оси Z на угол  $12^\circ$ ;
- нажать кнопку **ОК**.

На рис. 5.17-3 приведена схема, полученная в результате выполнения описанных выше действий.

Повторим проделанные операции для последних десяти метров балки, развернув их на угол  $-12^\circ$ . Результат приведен на рис. 5.17-4.

### Пример 2

На примере этой же балки рассмотрим операцию масштабирования вдоль заданной прямой. Увеличим высоту балки в два раза. Для этого необходимо:

- активировать **Геометрические преобразования**;
- установить операцию масштабирования вдоль заданной прямой;
- ввести коэффициент масштабирования, равный 2, и нажать кнопку **ОК**;
- соединить резиновой нитью два узла стенки, лежащие на одной вертикали.

После отметки второго узла схема будет автоматически преобразована (рис. 5.17-5).

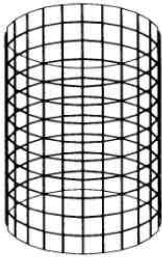


Рис. 5.17-6. Исходная схема цилиндра

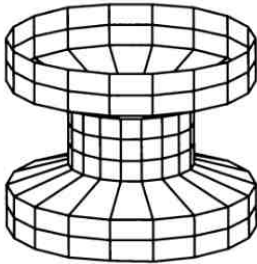
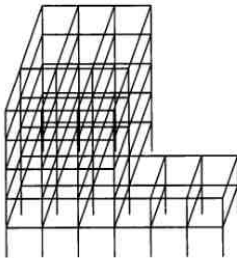


Рис. 5.17-7. Схема цилиндра в результате выполнения масштабирования



а)

**Пример 3**  
 Для иллюстрации возможностей масштабирования в заданной плоскости воспользуемся расчетной схемой цилиндра (рис. 5.17-6). Увеличим диаметр двух верхних и двух нижних поясов цилиндра в два раза.

Для этого необходимо:

- выбрать узлы указанных поясов;
- активировать **Геометрические преобразования**;
- установить операцию масштабирования в заданной плоскости;
- ввести коэффициент масштабирования 2;
- нажать кнопку **ОК**;
- выбрать на схеме три узла, лежащих в плоскости масштабирования (в данном случае в горизонтальной плоскости).

Операция будет выполнена после отметки третьего узла.

На рис. 5.17-7 схема-результат геометрических преобразований отображается с удалением линий невидимого контура.

Обратите внимание, что после выполнения операций масштабирования появились элементы трапециевидной формы. И если эти элементы в схеме-прототипе задавались как прямоугольные (тип 41), то их необходимо поменять на тип 44.

**Пример 4**

Пример иллюстрирует операции зеркализации. На рис. 5.17-8, а приведена исходная расчетная схема. Для нее последовательно выполним операции зеркального отражения по осям X, Y, Z (рис. 5.17-8, б-г).

Зеркализация допускает и работу с группой узлов, хотя это — весьма экзотическая операция, применимая только для отдельно стоящего фрагмента расчетной схемы.



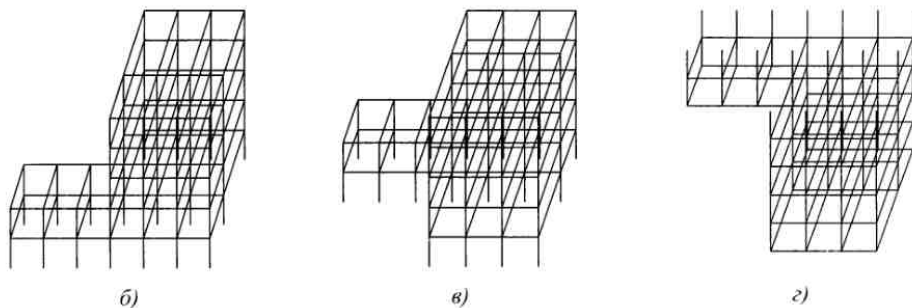


Рис. 5.17-8. Исходная расчетная схема (а) и результаты последовательного выполнения операции зеркализации по осям X, Y, Z (б–з).