

Раздел 8

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ ТЕЛ. КОНТАКТНЫЕ ЗАДАЧИ

Расчеты краевых контактных задач могут требовать очень значительные объемы оперативной и еще больше дисковой памяти, а также занимать очень много времени на этапе вычисления, поскольку решаются с применением итераций, в которых определяются зоны контакта, согласовываются контактные усилия и перемещения.

Основные теоретические сведения о контактных краевых задачах про определение НДС тел приведены в Приложении 8.

Контактные задачи формулируются для двух или большего количества тел. При этом тела могут иметь как конечную (деформируемое тело), так и бесконечную жесткость (жесткое тело или ограничения). В *первом* случае сначала создаются конечно-элементные модели всех тел, во *втором* случае контактная поверхность *жесткого* тела покрывается КЭ типа **PLOT ONLY**. Потом узлы КЭ, выходящие на контактные поверхности, связываются контактными КЭ.

Внимание: если поверхность контакта известна и отсутствует взаимное проскальзывание поверхностей контакта, задачу целесообразно решать как неконтактную, объединив два тела в одно.

В **UGS.F93** есть два метода формирования возможных зон контакта в краевой задаче о контакте тел, а именно как контакт типа:

- „узел-узел”, с применением КЭ типа **GAP** в одномерном и типа **SLIDE LINE** в двух- и трехмерном случае;
- „поверхность-поверхность”, с применением регионов. Реализовано в программах **NX Nastran**, **NE/NASTRAN**, **ABAQUS**, **MARC**, **ANSYS**, **LS-DYNA3D** и других.

8.1. Формирование зон контакта методом „узел-узел”

При формировании зон контакта методом „узел-узел” применяют контактные КЭ типа **GAP** в одномерном и типа **SLIDE LINE** в двух и трехмерном случае.

Контактные КЭ типа **GAP** или **SLIDE LINE** создаются с помощью команды **Model→Element...** (см. Раздел 3.4.1).

Проблемы при создании контактных КЭ типа **GAP** (зазор) связаны с тем, что он не может иметь длину, равную нулю, а также допускает лишь незначительный натяг.

Если при создании „**Property**” контактного КЭ на диалоговой панели „**Define Property – SLIDE LINE Element Type**” выбрать радиокнопкою вариант „**Symmetrical Penetration**”, то будут учитываться только симметричные члены матрицы жесткости контактного КЭ, что ускоряет расчет, но несколько снижает его точность.

Необходимо учитывать, что КЭ типа **SLIDE LINE** не имеет своей координатной системы, но должен находиться в плоскости **XY**. Поэтому, если это условие не выполняется в глобальной системе координат, в нужном месте необходимо создавать соответствующим образом ориентированную локальную систему координат, в которой и задавать КЭ типа **SLIDE LINE**.

Фактически контактный КЭ типа **SLIDE LINE** содержит перечень узлов *возможной* зоны контакта двух поверхностей, поскольку при его создании *последовательно* (от начального до конечного) указываются (отдельно на сторонах каждого тела) *все* узлы будущего (возможного) контакта. В созданных таким образом списках программа ищет узлы, которые противостоят друг другу с некоторым допуском (контактные пары узлов), потом между ними создает КЭ типа **GAP** (линия, соединяющая два узла, для моделирования работы на растяже-

ние (обычно с незначительной жесткостью для моделирования, например, сил молекулярного притяжения), сжатие и сдвиг).

Внимание: поскольку контактный КЭ типа **GAP** не может быть создан с нулевой длиной, то одно из контактирующих тел сначала нужно сдвинуть как жесткое тело (чтобы появился зазор между ними) в направлении, перпендикулярном к поверхности, создать все КЭ типа **GAP** или **SLIDE LINE** и потом придать телу верное положение. Жесткое смещение КЭ удобно проводить с помощью команды **Modify→Move By→Element...** Иногда есть смысл не двигать, а масштабировать КЭ (командой **Modify→Scale→Element...**, например, задать масштаб 0.99 относительно точки с нулевыми координатами).

О параметрах КЭ типа **GAP** или **SLIDE LINE** см. в таблице 3.2, об их создании – в Разделе 3.4.1.

Поскольку КЭ типа **SLIDE LINE** – плоский, то он включает в зону контакта тела лишь один ряд узлов на его поверхности. Поэтому в объемных и осесимметричных контактных задачах необходимо узлы КЭС размещать равными рядами с согласованным расстоянием между ними. Если такие ряды контактных КЭ создавать методом копирования прежде созданных, то *возникают совпадающие узлы*, которые необходимо обнаруживать и ликвидировать еще до придания подвинутому телу верного положения.

Все эти условности и дополнительные действия значительно усложняют создание контактных „связей”.

8.2. Формирование зон контакта с применением регионов

8.2.1. Общие сведения

Модель контакта для NX Nastran можно создавать между „твердыми” телами (**Solid**), оболочечными КЭ (**Shell**) и твердыми поверхностями (**Rigid Surfaces**).

Предполагаются следующие условия моделирования контакта:

- контактные узлы и КЭ заранее не известны;
- трение моделируется в соответствии с законом трения Кулона разных модификаций (для анализа типа 701 – только классической формулировки);
- моделируется сцепление и проскальзывание;
- появление и исчезновение контактных зон (пар узлов, соединений) может иметь любую последовательность;
- разрешены самоконтакт в теле и двусторонний контакт тонких частей тела;
- может быть смоделированным привязанный контакт (только для анализа типа 601);
- возможен только небольшой относительный сдвиг.

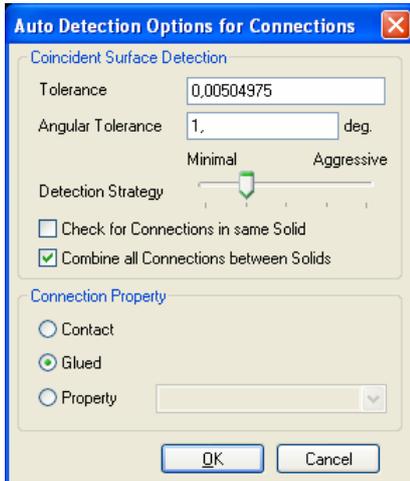
8.2.2. Автоматический и „ручной” варианты формирования зон контакта с применением регионов

Если в модели контакт осуществляется между поверхностями „твердых” тел (**Solid**), то есть смысл применять автоматический вариант поиска контактных поверхностей, который инициируется командой **Connect→Automatic...** (при отсутствии „твердых” тел эта команда не активна). После выбора „твердых” тел появится диалоговая панель, изображенная на рис.8.1-а.

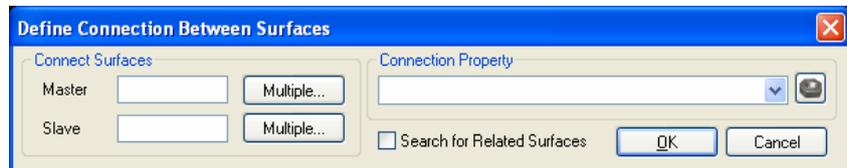
В секции „**Coincident Surface Detection**” есть такие опции:

- „**Tolerance**” и „**Angular Tolerance _ deg.**”: устанавливают критические величины зазора и угла наклона (градусов) между поверхностями „твердых” тел, которые не позволят считать, что эти поверхности могут при анализе контактировать;
- „**Direction Strategy**” (стратегия выявления): от „**Minimal**” (минимальная) к „**Aggressive**” (агрессивная) – пять степеней. Первая степень („**Minimal**”) – только плоские поверхности; вторая – дополнительно рассматриваются цилиндрические, сферические, конусные поверхности и тороиды; третья – дополнительно используются логические (Булевы) операции; четвертая – как третья, но предварительно все „твердые” тела „раздуваются” на величину в 0.5 от „**Tolerance**” (от критической величины зазора); пятая („**Aggressive**”) – как четвертая, но тела „раздуваются” на полную величину „**Tolerance**”;

- „**Check for Connections in same Solid**” – проверять на „самоконттакт”, т.е. соединение в том же теле (например, берега трещины в теле при ее закрытии входят в контакт);
- „**Combine all Connections between Solids**” – объединить все соединения в теле в единый регион. Нуждается в отключении в случае наличия „самоконтакта”;



а)



б)

Рис.8.1. Диалоговые панели настраивания: а) – автоматического поиска поверхностей контакта; б) – „ручного” поиска поверхностей контакта

В секции „**Connection Property**” есть такие варианты: „**Contact**” (создание нового контактного „**Property**”), „**Glued**” (создание нового контактного „**Property**” типа „клея”) и „**Property**” (выбрать из списка уже существующее „**Property**” и использовать его).

Примечание 8.1. Вариант „**Glued**” не может применяться в типах анализа **601** и **701** (см. табл.4.2). Этот вариант имеет такие особенности: во-первых, создаются жесткие связи типа „**Springs**”, которые не допускают относительные смещения объектов контакта; во-вторых, нельзя в NX Nastran применять *итерационный* процесс решения линейной системы алгебраических уравнений.

Можно использовать „ручной” вариант поиска контактных поверхностей: дать команду **Connect**→**Surface...** Появится диалоговая панель, изображенная на рис.8.1-б. У поля „**Master**” (главная) и „**Slave**” (подчиненная) вводятся номера двух поверхностей или с помощью кнопок „**Multiple...**” создаются списки поверхностей, выбирается или (с помощью кнопки ) создается контактное „**Property**” (см. ниже). Если установить опцию „**Search for Related Surfaces**” (поиск связанных поверхностей), то в регион будут автоматически включаться поверхности, логически связанные с уже найденными. Например, одна поверхность логическими операциями разделена на несколько; цилиндрическое отверстие в среде **Parasolid** имеет две логически связанные поверхности.

8.2.3. Диалоговая панель „**Define Connection Property**”

Диалоговая панель „**Define Connection Property**” (кроме кнопки  еще вызывается командой **Connect**→**Connection Property...**) имеет общую зону и 8 вкладок, из них лишь три предназначены для NX Nastran. В общей зоне, кроме стандартных полей, есть поле списка „**Connect Type**” (тип соединения) с двумя вариантами: „**0..Contact**” (контакт) и „**1..Glued**” (склеивание). Кнопкой „**Defaults**” рекомендуют заполнить опции стандартными значениями.

8.2.3.1. Вкладка „**NX Linear**” диалоговой панели „**Define Connection Property**”

Первая вкладка „**NX Linear**” (см. рис.8.2) предназначена для настраивания анализа типа 101 – линейного статического (см. табл.4.2).

В секции „**Contact Pair (BCTSET)**” есть такие опции, значения которых можно изменять в разных „**Connection Property**”:

- „**Friction**” – статический коэффициент трения Кулона;
- „**Min Contact Search Dist**” – минимальное расстояние для поиска пары контакта i – го узла. **Внимание:** при наличии натяга это расстояние может быть отрицательным;

- „**Max Contact Search Dist**” – максимальное расстояние для поиска пары контакта i – го узла (измеряется вдоль нормали к поверхности КЭ из точки, имеющей координаты узла).

В секции „**Contact Property (BCTPARM)**” опции должны иметь одинаковые значения во всех „**Connection Property**”. Поэтому FEMAP будет пользоваться значениями *лишь из одной „Connection Property*”, которая связана с *наименьшим* номером КЭ. Это такой набор опций:

- „**Max Force Iterations**” – максимальное количество итераций для уравнивания контактных усилий и достижения условия взаимного не проникновения (внутренний цикл);

- „**Max Status Iterations**” – максимальное количество итераций для нахождения решения;

- „**Normal Penalty factor**” – фактор штрафа (жесткости проникновения) для нормального направления;

- „**Tangential Penalty factor**” – фактор штрафа для тангенциального направления (в 10 ... 100 раз меньше нормального);

- „**Force Convergence Tol**” – точность сходимости контактных усилий (евклидова норма);

- „**Num Allow Contact Changes**” – количество КЭ в текущих зонах контакта, при которой алгоритм прекратит поиск решения;

- „**Min Contact Percentage**” – минимальный процент от контактных КЭ, которые считаются активными;

- „**Initial Penetration**” – начальное проникновение. Варианты из списка: „**0..Calculated**” (вычисление с использованием координат узлов), „**2..Calculated / Zero Penetrations**” (как предыдущее, но при наличии проникновения устанавливается нулевое значение), „**3..Zero Gap/Penetration**” (для мест с зазорами и натягом – нуль);

- „**Shell Offset**” – учитывать толщину оболочки. Варианты из списка: „**0..Include shell thickness**” (учитывать) и „**1..Do not include thickness**” (не учитывать);

- „**Avg Methods**” – метод усреднения для контактных давления и натяжения. Варианты из списка: „**0..Include All Elements**” (включать *все* КЭ зон контакта) и „**1..Include Active Elements**” (включать только активные (реально контактирующие) КЭ);

- „**Contact Status**” – статус контакта. Варианты из списка: „**0..Start from Prev Subcase**” (запуск от предыдущего случая) или „**1..Start from Init State**” (запуск от начального состояния).

В секции „**Common Contact Parameters (BCTPARM and BGPARM)**” (общие параметры контакта) есть такие опции:

- „**Eval Order**” – порядок оценивания взаимного проникновения. Варианты из списка: „**0..Default**” (по умолчанию, как в NX Nastran), „**1..Low**” (низкий порядок точности), „**2..Medium**” (средний) и „**3..High**” (высокий). **Внимание:** повышение точности увеличивает время поиска решения;

- „**Refine Source**” – модифицировать сетку КЭ в зоне контакта? Варианты из списка: „**0..Do Not Refine**” (не делать этого) и „**1..Refine Source to Target**” (модифицировать).

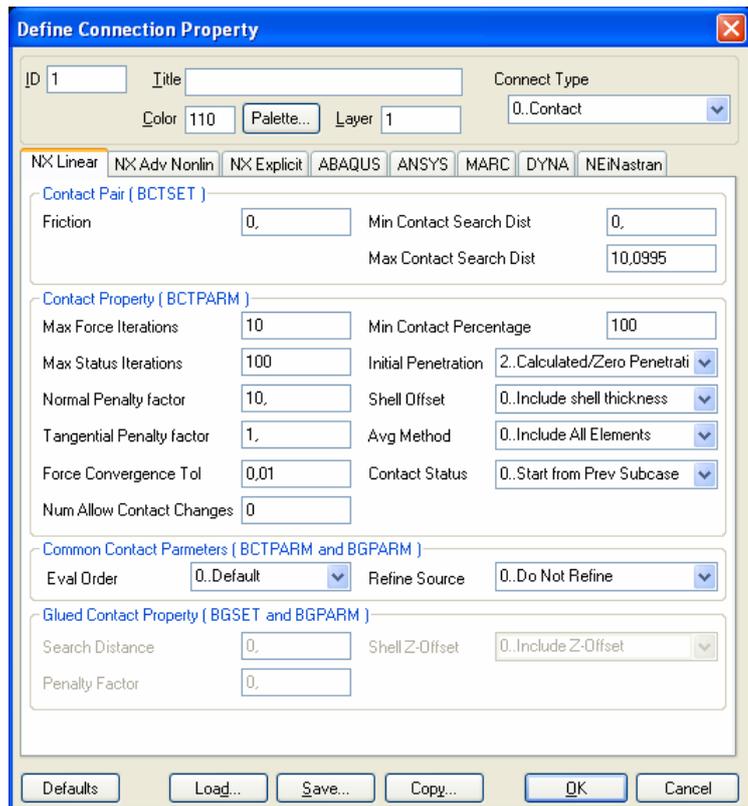


Рис.8.2. Диалоговая панель настраивания „**Connection Property**” для анализа типа 101

В секции „**Glued Contact Property (BGSET and BGPARM)**” (свойства склеенного контакта) есть такие опции:

- „**Search Distance**” – расстояние для поиска пары контакта i – го узла. **Внимание:** при наличии натяга это расстояние может быть отрицательным;
- „**Penalty Factor**” – фактор штрафа для *всех* контактных пар (связей). По умолчанию равен 10^6 . Если наблюдается дробление регионов связей, то рекомендуют примерно на порядок увеличить это число. **Внимание:** слишком большие значения вызывают увеличение ошибок;
- „**Shell Z-Offset**” – учитывать толщину оболочки. Варианты из списка: „**0..Include Z-Offset**” (учитывать), „**1..Do not Include Z-Offset**” (не учитывать).

8.2.3.2. Вкладка „NX Adv Nonlin” диалоговой панели „Define Connection Property”

Вторая вкладка „NX Adv Nonlin” (см. рис.8.3) предназначена для настраивания анализа типа 601 – нелинейного статического (см. табл. 4.2). Напомним, что в этом случае для NX Nastran в поле „**Connect Type**” можно применять лишь вариант „**0..Contact**”.

В секции „**General**” (общие) есть такие опции:

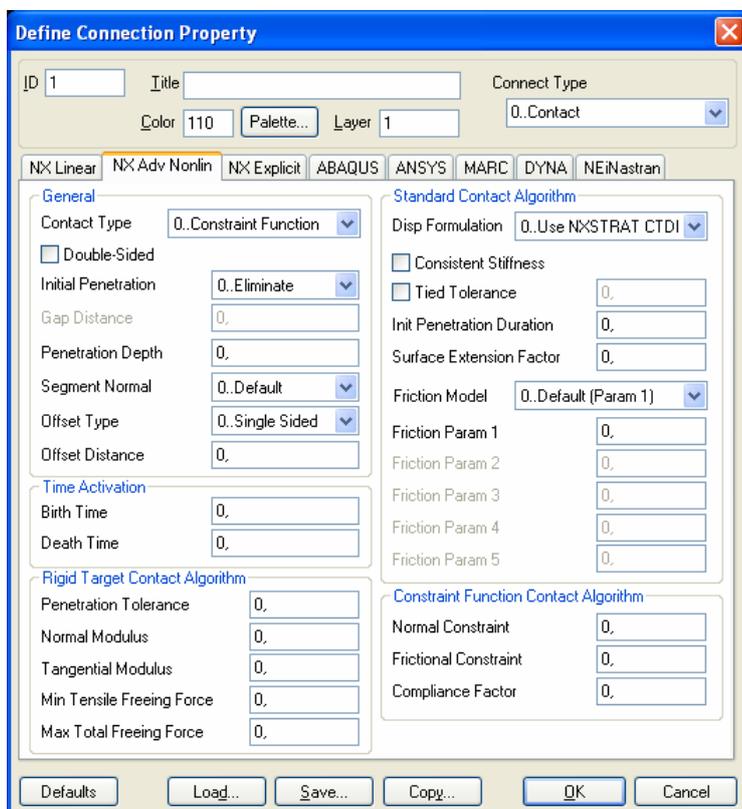


Рис.8.3. Диалоговая панель настраивания „**Connection Property**” для анализа типа 601

сти. Варианты из списка: „**0..Default**” (как „**1..Used**” – для одностороннего; как „**-1..Not Used**” – для двустороннего контакта), „**1..Used**” (использовать непрерывный (интерполированный) сегмент) и „**-1..Not Used**” (не использовать);

- „**Offset Type**” – тип отступа. Варианты из списка: „**0..Single Sided**” (только для односторонних), „**1..Single/Double-Sided**” (для односторонних и двусторонних) и „**2..Half Shell Thick**” (половина толстой оболочки);
- „**Offset Distance**” – размер отступа (для первых двух вариантов „**Contact Type**” можно задавать *разный* размер в разных регионах контакта).

В секции „**Time Activation**” (активация времени) есть такие опции:

- „**Birth Time**” – время создания контакта;
- „**Death Time**” – время окончания („смерти”) контакта (если это значение равно времени создания, то контакт игнорируется).

• „**Contact Type**” – алгоритм контакта: „**0..Constraint Function**” (ограничивающих функций), „**1..Segment Method**” (метод сегмента) и „**2..Rigid Target**” (жесткий целевой);

• „**Double Sided**” – разрешение на использование для контакта обеих сторон поверхности оболочки;

• „**Initial Penetration**” – начальное проникновение. Варианты из списка: „**0..Eliminate**” (удалить), „**1..Eliminate/Print**” (удалить, создать и вывести в файл соответствующий список узлов), „**2..Ignored**” (игнорировать) и „**3..Specify with Gap Distance**” (задавать значением из поля „**Gap Distance**”. При >0.0 – зазор; при <0.0 – проникновение, которое будет устранено);

• „**Penetration Depth**” – допустимая глубина проникновения для одностороннего контакта;

• „**Segment Normal**” – использовать ли интерполированный сегмент для определения нормали к поверхности;

В секции „**Rigid Target Contact Algorithm**” есть такие опции:

- „**Normal Modulus**” – нормальный модуль контакта. По умолчанию = 10^{11} ;
- „**Penetration Tolerance**” – максимальное значение для проникновения в тело (по умолчанию = 10^{-8});
- „**Tangential Modulus**” – касательный модуль контакта (по умолчанию = 0.0);
- „**Min Tensile Freeing Force**” – минимальная сила растяжения для разрыва контактной пары (по умолчанию = 0.001);
- „**Max Total Freeing Force**” – максимальное значение суммы сил растяжения в узлах, которые изменяют свой статус, со всей зоны контакта (по умолчанию = 1.0). При превышении этого значения алгоритм уменьшает текущее приращение времени, т.е. разделяет приращение нагрузок на несколько частей.

В секции „**Standard Contact Algorithm**” есть такие опции:

- „**Disp Formulation**” – формулирование перемещений. Варианты из списка: „**0..Use NXSTRAT CTDISP**” (по умолчанию, т.е. как определено переменной **CTDISP** в **NXSTRAT**), „**1..Small Disp Formulation**” (малые перемещения, условия контакта не обновляются) и „**2..Large Disp Formulation**” (большие перемещения, условия контакта обновляются);
- „**Consistent Stiffness**” – использовать (или нет) согласованную жесткость контакта;
- „**Tied Tolerance**” – точность связывания регионов в каждой паре контакта. В NX Nastran 5.0 при инициации этой опции считается, что регионы контакта имеют малые повороты;
- „**Init Penetration Duration**” – продолжительность ликвидации начального проникновения. Если задать 0.0, то начальное проникновение будет ликвидировано на первом временном шаге, но это может вызвать проблемы со сходимостью;
- „**Surface Extension Factor**” – фактор продления поверхности, обозначим как δl . Длина поверхности L увеличивается, равняется $(1.0 + \delta l) \cdot L$. Диапазон значений: от 10^{-6} до 0.1; по умолчанию = 0.001;
- „**Friction Model**” – модель трения. Варианты из списка: „**0..Default (Param 1)**” (постоянный коэффициент трения, определенный на вкладке „**NX Linear**” в секции „**Contact Pair (BCTSET)**” в поле „**Friction**”); „**1..Constant (Param 1)**” (постоянный коэффициент трения, определенный в поле „**Friction Param 1**”); „**2..Model 1 (1,2)**” (модель 1); „**3..Model 2 (1,2,3)**” (модель 2); „**12..Modified Model 1(1,2)**” (модифицированная модель 1); „**13..Modified Model 2(1,2,3)**” (модифицированная модель 2); „**4..Static/Dynamic (1,2,3)**” (разные коэффициенты трения статического и динамического); „**5..vs Sliding Velocity (1,2,3)**” (коэффициент трения зависит от скорости взаимного проскальзывания); „**6..Anisotropic (1-5)**” (анизотропная модель); „**7..vs Contact Force (1,2)**” (коэффициент трения зависит от контактного усилия); „**8..vs Time (1,2,3)**” (коэффициент трения зависит от времени) и „**9..vs Coordinate (1-5)**” (коэффициент трения зависит от координат). В скобках указываются номера параметров, которые используются для задания коэффициента. Формулы – в табл.Д5.1 Приложения 8;

• „**Friction Param 1**”, „**Friction Param 2**”, „**Friction Param 3**”, „**Friction Param 4**” и „**Friction Param 5**” – значения параметров моделей трения.

В секции „**Constraint Function Contact Algorithm**” (ограничения функции контактного алгоритма, только для варианта алгоритма контакта „**0..Constraint Function**”) есть такие опции:

- „**Normal Constraint**” – параметр ε_N (нормальное ограничение) функции $w(g, \lambda)$: см. формулу (Д5.16-6) Приложения 8. По умолчанию = 10^{-12} ;
- „**Frictional Constraint**” – ограничения трения. Нужно задавать значения, которые > 0.0 . По умолчанию = 0.001;
- „**Compliance Factor**” – фактор компиляции. По умолчанию = 0.0.

Дополнительные сведения см. в Приложении 8.

8.2.3.3. Вкладка „**NX Implicit**” диалоговой панели „**Define Connection Property**”

Третья вкладка „**NX Implicit**” (см. рис.8.4) предназначена для настраивания анализа типа 701 – прямого нелинейного динамического (см. табл.4.2). Напомним, что для NX Nastran в поле

„Connect Type” можно применять лишь вариант „0..Contact”. Некоторые опции – такие же, как и на второй вкладке.

В секции „General” есть такие опции:

- „Contact Type” – тип контакта. Варианты из списка: „0..Constraint Function” (ограниченные функции), „1..Penalty Method” (метод штрафа) и „3..Rigid Target” (жесткий целевой);
- „Double Sided” – использовать для контакта обе стороны поверхности;
- „Initial Penetration” – начальное проникновение. Варианты из списка: „0..Eliminate” (ликвидировать), „1..Eliminate/Print” (ликвидировать и создать соответствующий список узлов) и „2..Ignored” (игнорировать);
- „Penetration Depth” – глубина проникновения для одностороннего контакта;
- „Segment Normal” – использовать ли интерполированный сегмент для определения нормали к поверхности. Варианты из списка: „0..Default” (по умолчанию), „1..Used” (использовать непрерывный (интерполированный) сегмент) и „-1..Not Used” (не использовать);

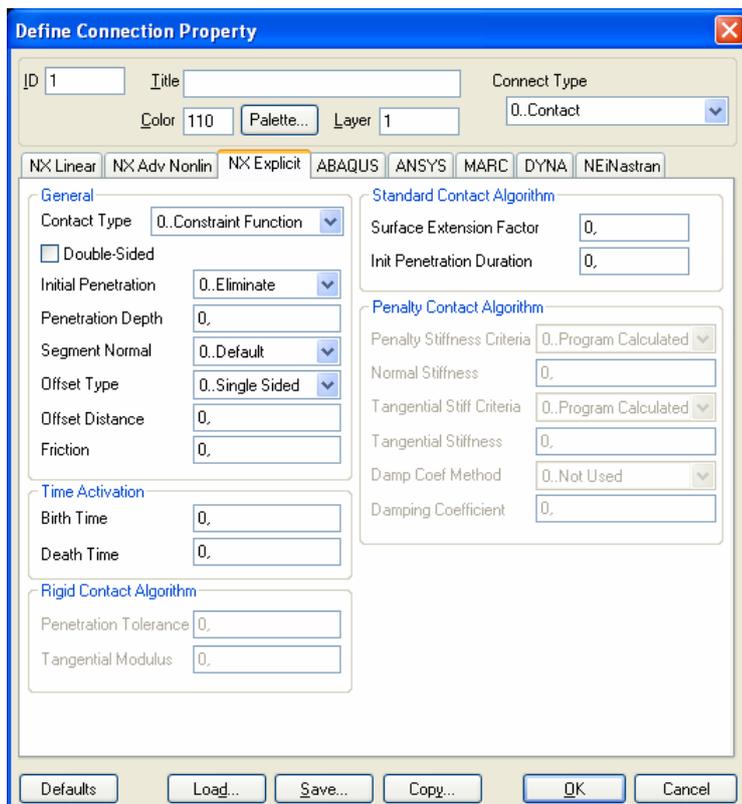


Рис.8.4. Диалоговая панель настраивания „Connection Property” для анализа типа 701

- „Tangential Modulus” – касательный (тангенциальный) модуль контакта.

В секции „Standard Contact Algorithm” (стандартный контактный алгоритм) есть такие опции:

- „Surface Extension Factor” – фактор продолжения поверхности, обозначим как δl . Длина поверхности L увеличивается, равняется $(1.0 + \delta l) \cdot L$. Диапазон значений: от 10^{-6} к 0.1; по умолчанию = 0.001;

• „Init Penetration Duration” – продолжительность ликвидации начального проникновения. Если задать 0.0, то начальное проникновение будет ликвидировано на первом временном шаге, но это может вызвать проблемы со сходимостью.

В секции „Penalty Contact Algorithm” (контактный алгоритм штрафа) есть такие опции:

- „Penalty Stiffness Criteria” – критерий для оценивания нормальной жесткости штрафа. Варианты из списка: „0..Program Calculated” (величина „Normal Stiffness” вычисляется программой), „1..User Defined” (определяется пользователем);

• „Offset Type” – тип отступления. Варианты из списка: „0..Single Sided” (только для односторонних оболочек), „1..Single/Double-Sided” (для односторонних и двусторонних) и „2..Half Shell Thick” (половина толстой оболочки);

• „Offset Distance” – размер отступления;

• „Friction” – статический коэффициент трения.

В секции „Time Activation” есть такие опции:

• „Birth Time” – время создания контакта;

• „Death Time” – время окончания („смерти”) контакта (если это значение равно времени создания, то контакт игнорируется).

В секции „Rigid Contact Algorithm” (жесткий контактный алгоритм) есть такие опции:

• „Penetration Tolerance” – максимальное значение для проникновения в тело (по умолчанию = 10^{-8});

- „Normal Stiffness” – нормальная жесткость;
- „Tangential Stiff Criteria” – критерий для оценивания жесткости штрафа в тангенциальном направлении. Варианты из списка: „0..Program Calculated” (Tangential Stiffness вычисляется программой), „1..User Defined” (определяется пользователем);
- „Tangential Stiffness” – жесткость в тангенциальном направлении;
- „Damp Coefficient Method” – метод задания коэффициента демпфирования. Варианты из списка: „0..Not Used” (демпфирование не используется), „1..As Crit Damping Factor” (демпфирование используется и является критическим фактором), „2..Directly Defined” (непосредственно определен);
- „Damping Coefficient” – коэффициент демпфирования. Относительное для варианта „1..As Crit Damping Factor” и абсолютное значение.

Дополнительные сведения см. в Приложении 8, а также в книге „Nonlinear Analysis Theory and Modeling guide”, которая есть в составе „Help”.

8.2.4. Команды создания/редактирования объектов контактного региона

После создания хотя бы одного контактного региона в разделе „Connections” информационно-навигационной панели „Model Info” появляются объекты модели в полях **Properties**, **Regions** та **Connectors**. Их названия можно изменить (см. рис.8.5-а).

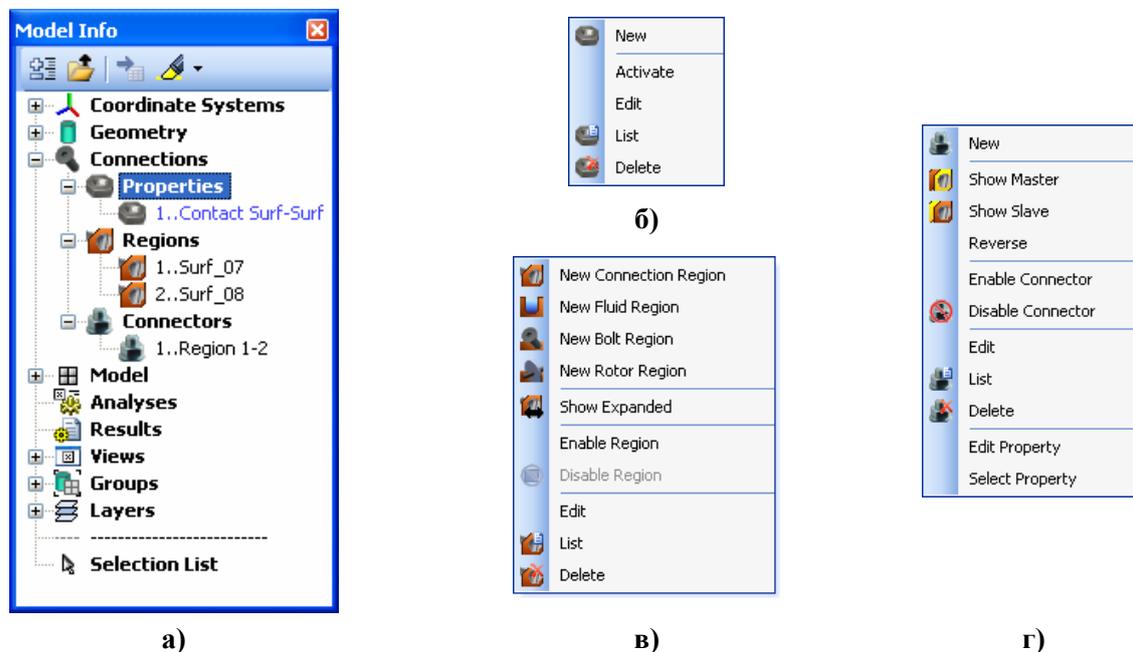


Рис.8.5. Содержание панелей для Connections

Если навести курсор мыши на эти объекты „Model Info” и щелкнуть правой кнопкой мыши, появится динамическая диалоговая панель, набор команд которой соответствует объекту. Для **Connections→Properties** панель изображена на рис.8.5-б, для **Connections→Regions** – на рис.8.5-в, для **Connections→Connectors** – на рис.8.5-г.

Команда **Connect→Connection Property...**, а также команда „Edit” на панели, изображенной на рис.8.5-б, вызывают уже описанную диалоговую панель „Connection Property” (см. рис.8.2).

Команда **Connect→Connection Region...**, а также команда „Edit” на панели, изображенной на рис.8.5-в, вызывает диалоговую панель „Connection Region” (см. рис.8.6-а). Назначение панели – создание/редактирование контактного региона.

Главная задача – с помощью радиокнопок, опций и кнопок „<<Add”, „Multiple...” „Delete” и „Reset” сформировать в большом поле список объектов, создающих контактный регион.

В секции „Type” выбирается тип контактного региона: „Deformable” (деформируемый) или „Rigid” (жесткий). В последнем случае (для анализа типов 601 и 701) становится активным поле „Ref Node”, в которое нужно ввести номер узла, в котором (будут) заданы ограничения (Con-

straint), смещение (**Displacement**), скорость перемещения (**Velocity**) и т.п., которые будут перенесены на весь контактный регион жесткого типа.

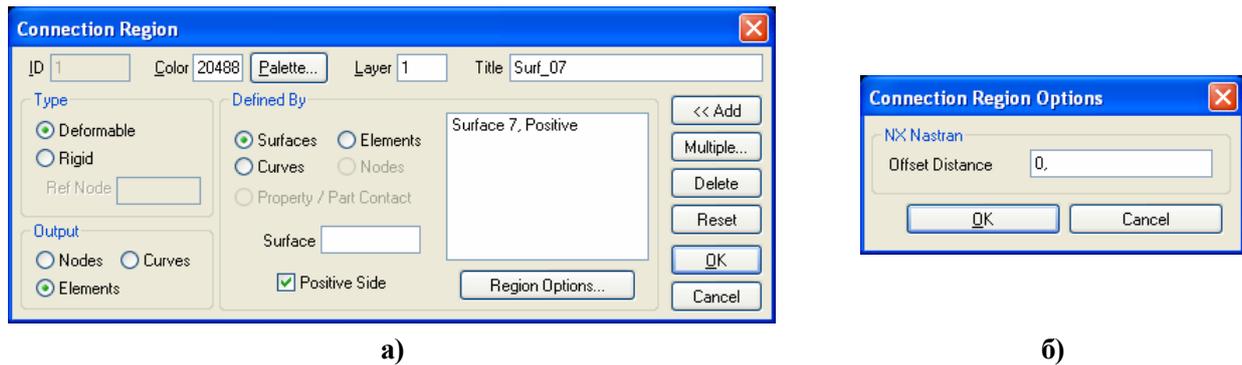


Рис.8.6. Диалоговые панели: а) – контактного региона; б) – опций контактного региона

В секции „**Define By**” радиокнопками „**Surfaces**”, „**Elements**”, „**Curves**”, „**Nodes**” и „**Property / Part Contact**” выбирается тип объекта, который будет входить в контактный регион, причем в зависимости от типа объекта в нижней части секции появляются дополнительные поля, опции и кнопки, а именно:

- для „**Surfaces**” – поле „**Surface**” для введения номера поверхности и опция „**Positive Side**” – для изменения стороны поверхности (положительный или нет). Если поверхность ассоциирована с КЭ типа **Solid**, то сторона поверхности не имеет значения;
- для „**Elements**” – поля „**Element**” и „**Face**” для введения номеров КЭ и поверхности КЭ;
- для „**Curves**” – поле „**Curve**” для введения номера линии и опция „**Positive Side**” – для изменения стороны линии (положительна или нет, но эта опция в **UGS.F93** реально не используется) или список „**CSys**” координатных систем проекта;
- для „**Nodes**” – поле „**Node**” для введения номера узла;
- для „**Property / Part Contact**” – поле „**Property**” для введения номера „**Property**” КЭ, причем для ограничения количества КЭ, которые имеют такое „**Property**” и будут включены в список, есть кнопка „**Contact Box...**”, которая вызывает стандартную панель для создания точки в пространстве. Таких точек будет создано две. Эти точки – противоположные угловые точки четырехугольного „бокса”. Все КЭ, что имеют указанное „**Property**” и геометрические центры которых лежат в рамках „бокса”, будут включены в контактный регион. Для удаления назначений границ „бокса” есть кнопка „**Delete**”.

Кроме того, в секции „**Define By**” есть кнопка „**Region Options...**”, вызывающая панель „**Connection Region Options**” (см. рис.8.6-б), где в поле „**Offset Distance**” можно установить величину отступления от объекта контактного региона.

В секции „**Output**” радиокнопками „**Nodes**”, „**Curves**” и „**Elements**” выбирается тот тип объекта модели, к которому все назначения будут переназначаться программой **FEMAP** при создании файла для передачи модели в программу-анализатор (**NX Nastran** или другой).

Эта панель – универсальна, как и среда **FEMAP**. Поэтому вариантов – много, причем для **NX Nastran** нужны не все варианты, а лишь несколько.

Некоторые дополнительные сведения об условиях использования разных вариантов можно получить в „**Help**”, а именно в **FEMAP**→**Commands**→**4. Finite Element Modeling**→**4.4 Creating Connections and Regions**→**4.4.4 Connect, Connection Region...**

Команда **Connect**→**Connector...**, а также команда „**Edit**” на панели, изображенной на рис.8.5-г, вызывает диалоговую панель „**Define Contact Connector – Select Connection Region**” (см. рис.8.7). Назначение панели – создание нового контактного соединения (из прежде созданных контактных регионов) или редактирование существующего контактного соединения.

На этой панели нужно в поле „**Property**” выбрать одно из созданных раньше „**Connection Property**” (или с помощью кнопки  создать новое); в списках „**Master**” (главный) и „**Slave**” (ведомый) – по одному з контактных регионов, которые будут создавать контакт, причем с помощью кнопок „**Edit Master**” и „**Edit Slave**” можно вызвать диалоговую панель „**Connection Region**” (см.

рис.8.6-а) для редактирования выбранных контактных регионов, а кнопки „Define Region” – такую же панель для создания нового контактного региона.

8.3. Дополнительные пояснения к контактным алгоритмам

В случаях, когда программа объединяет значения, которые заданы на панелях для разных контактных регионов, она использует значения, заданные для контактного региона с *наибольшим ID*. Поэтому нужно иметь в виду, какие данные – общие, а какие – индивидуальные.

Когда в поле „Eval Order” (см. рис.8.2) устанавливается разный порядок оценивания взаимного проникновения, то алгоритм использует разное количество точек на контактирующей поверхности КЭ, в зависимости от количества узлов, которое содержат поверхности КЭ – см. табл.8.1. С повышением порядка оценивания контактные силы и напряжения получают более гладкие распределения.

Таблица 8.1. Зависимость количества точек на фронтальной поверхности двумерного КЭ и боковой поверхности трехмерного КЭ от порядка оценивания взаимного проникновения тел, порядка приближения в КЭ и геометрии контактирующей грани КЭ

Порядок приближения / геометрия поверхности	Установленный порядок оценивания взаимного проникновения		
	1	2	3
Линейный / треугольная	1	3	7
Параболический / треугольная	3	7	12
Линейный / четырехугольная	1	4	9
Параболический / четырехугольная	4	9	16

В узлах контактной поверхности не желательно задавать перемещения и другие граничные условия, поскольку в контактном алгоритме такие узлы будут проигнорированы.

8.4. Создание задания для проведения расчета краевой контактной задачи

При создании задания, на диалоговой панели „Analysis Set Manager” (вызывается командой **Model**→**Analysis...**) инициируется кнопка „New...”, на панели „Analysis Set” выбирается в списке „Analysis Type” (см. рис.4.13-б) значение:

- „1..Static” (статика), „10..Nonlinear Static” (нелинейная статика) или „22..Advanced Nonlinear Static” (нелинейная статика, „передовой” анализ, см. Раздел 6.3.8 и Раздел Д5) – статические контактные задачи;

- „23..Advanced Nonlinear Transient” (неявный метод Ньюмарка, см. Раздел Д7.3.1.1) или „24..Advanced Nonlinear Explicit” (явный центрально-разностный алгоритм, CDM; см. Раздел Д7.3.1.2) – динамические контактные задачи (переходной, эволюционный анализ).

В случае назначения типов задач 22.., 23.. и 24.. еще нужно настроить некоторые опции. Об этом – см. Раздел 6.4.

Поскольку зоны контакта могут быть определены с точностью расстояния между узлами контактной поверхности тела, то точность решения контактной задачи не может быть очень высокой. В полученном решении смещения в зоне контакта всегда рассчитываются точнее, чем контактные усилия. Поэтому значения (по умолчанию) точность для контактных усилий (поле „Contact Force Tol” – см. рис.6.16) в 0.05, т.е. в 5% является нормальным явлением. **Внимание:** чрезмерные требования относительно точности решения контактной зада-



Рис.8.7. Диалоговая панель для создания/редактирования списка контактных регионов, создающих контакт

чи приведут к исчерпанию заданного на панели „**NXSTRAT Iteration and Convergence Parameters**” (см. рис.6.16) максимального количества итераций и к фатальной ошибке.

Если при создании „**Connection Property**” применялся метод „**1..Segment Method**” (см. рис.8.3 и рис.8.4), то:

- все тела модели должны иметь отдельные (свои) условия закрепления;
- нельзя назначать в поле „**Convergence**” (см. рис.6.16) такие методы оценки сходимости: „**0..Energy**” (энергия) и „**1..Energy and Force**” (энергия и сила).