

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Колчунов В.И., д.т.н., проф.; Вакулин Р.Н., бакалавр

Национальный авиационный университет
Киев, Украина

АНОТАЦІЯ: Запропонована методика побудови фізичної моделі опору закладних деталей, що базується на багаторівневій розрахунковій схемі. Перший рівень розглядає діаграми вихідних матеріалів бетону і арматури. Діаграми другого рівня будуються теоретично із залученням діаграм першого (вихідного) рівня і теорії зчеплення на основі розрахункової схеми опору анкерів. Діаграми третього рівня будуються для вузла в цілому. Маючи в розпорядженні набір основних типів закладних деталей залізобетонних конструкцій можна отримати довідкові таблиці для нормативних документів, як при статичних, так і при динамічних навантаженнях. При цьому значною мірою відпадає необхідність проведення трудомістких і дорогих експериментів.

АННОТАЦИЯ: Предложена методика построения физической модели сопротивления закладных деталей, базирующаяся на многоуровневой расчетной схеме. Первый уровень рассматривает диаграммы исходных материалов бетона и арматуры. Диаграммы второго уровня строятся теоретически с привлечением диаграмм первого (исходного) уровня и теории сцепления на основе расчетной схемы сопротивления анкеров. Диаграммы третьего уровня строятся для узла в целом. Располагая набором основных типов закладных деталей железобетонных конструкций можно получить справочные таблицы для нормативных документов, как при статических, так и при динамических нагрузках. При этом в значительной мере отпадает необходимость проведения трудоемких и дорогостоящих экспериментов.

ABSTRACT: The method of construction of physical model of resistance of the mortgaged details, being based on a multi-level computation scheme is offered. The first level studies the diagrams of initial materials of concrete and reinforcement. The diagrams of the second level theoretically are built with bringing of diagrams of the first (initial) level and theory of coupling in basing design scheme of anchors resistance. The diagrams of the third level are built for a knot on the whole. Disposing by the set of basic types of the mortgaged details of reinforced concrete constructions it is possible to get reference tables for normative documents, both under other static or dynamic loading. Because of this the necessity of labour intensive and expensive experiments conducting intensively decreases.

Большинство сборных железобетонных конструкций имеют закладные детали, с помощью которых конструкция крепится в каркасе здания, поэтому разработка модели сопротивления закладных деталей железобетонных конструкций является весьма важной и актуальной задачей. Как правило, известные методики расчета в значительной мере не учитывают податливость закладных деталей в бетонной матрице и эффекты, которые связаны с несплошностью железобетона (после появления трещин) и несовместимостью деформаций бетона и арматуры.

Представляется логичным, для каждой группы стыков иметь свою расчетную модель сопротивления, учитывающую специфику той или иной группы.

Для учета сосредоточенных деформаций в зазорах контактных зон и учета особенностей сопротивления закладных деталей узлов наиболее эффективны диаграммы “усилие-перемещение” [1, 2].

Типичный вид таких диаграмм для контактной зоны узла при нарушенном сцеплении между слоями приведен на рис. 1а, а при ненарушенном сцеплении между слоями – на рис. 1б.

Испытания НИИЖБ [2] показали, что взаимный сдвиг слоев бетона в образце, моделирующем стык, происходит на плоскости контакта и, что характер их смещения, относительно друг друга ΔS , при различных величинах сдвигающей силы T , практически одинаков.

Здесь уместно остановиться на методическом подходе к расчету податливости сборных узлов. На первый взгляд весьма привлекательным представляется использование диаграмм “усилие-перемещение”, получаемых экспериментально, для всего узла. Однако такая интегральная оценка его сопротивления вряд ли отразит все особенности НДС узлов (при всем разнообразии их конструктивных решений и различном сочетании нагрузок) и потребует проведения обширных экспериментов.

Уровень использования диаграмм, получаемых экспериментально должен понижаться. В пределах необходимо стремиться к использованию диаграмм составляющих материалов (диаграмм первого уровня): бетона и арматуры. На их основе уже возможно построение диаграмм второго уровня для различных факторов, например, для учета податливости закладных деталей. При этом диаграммы второго уровня могут быть получены теоретически с привлечением диаграмм первого (исходного) уровня и теории сцепления в сочетании с расчетной схемой сопротивления анкеров. Диаграммы третьего уровня строятся для узла в целом. Они определяются на основе использования диаграмм первого уровня и расчетной модели всего узла. При этом расчетная модель узла уже может включать диаграммы второго уровня. Именно такое многоуровневое использование диаграмм “усилие-перемещение” позволит учесть все особенности НДС при любом сочетании усилий и конструктивных особенностей в узле, а также при одновременном исключении громоздкости расчета. В качестве примера здесь можно провести аналогию с выполнением расчета по предельным нагрузкам и по предельным состояниям. Несмотря на одинаковую форму записи, благодаря дифференцированности подхода, второй представляется более совершенным и надежным.

При построении диаграмм “усилие-перемещение” для закладных деталей могут оказаться полезными и численные исследования на основе метода конечных элементов с подробным расчленением закладной детали и бетонной матрицы на конечные элементы. Однако предварительные расчеты показывают, что здесь в значительной мере не учитываются эффекты нарушения сплошности железобетона и несовместимость деформаций бетона и арматуры, что обеспечивается лишь на основе метода расчетных моделей сопротивления [3].

В итоге, представляется целесообразным располагать набором диаграмм “усилие-перемещение” для различных типов закладных деталей и контактных зон узлов в справочных приложениях к нормативным документам.

Типичная диаграмма “усилие-перемещение” для закладных деталей приведена на рис. 1в (общий вид зависимости “усилие-перемещение” для закладных деталей).

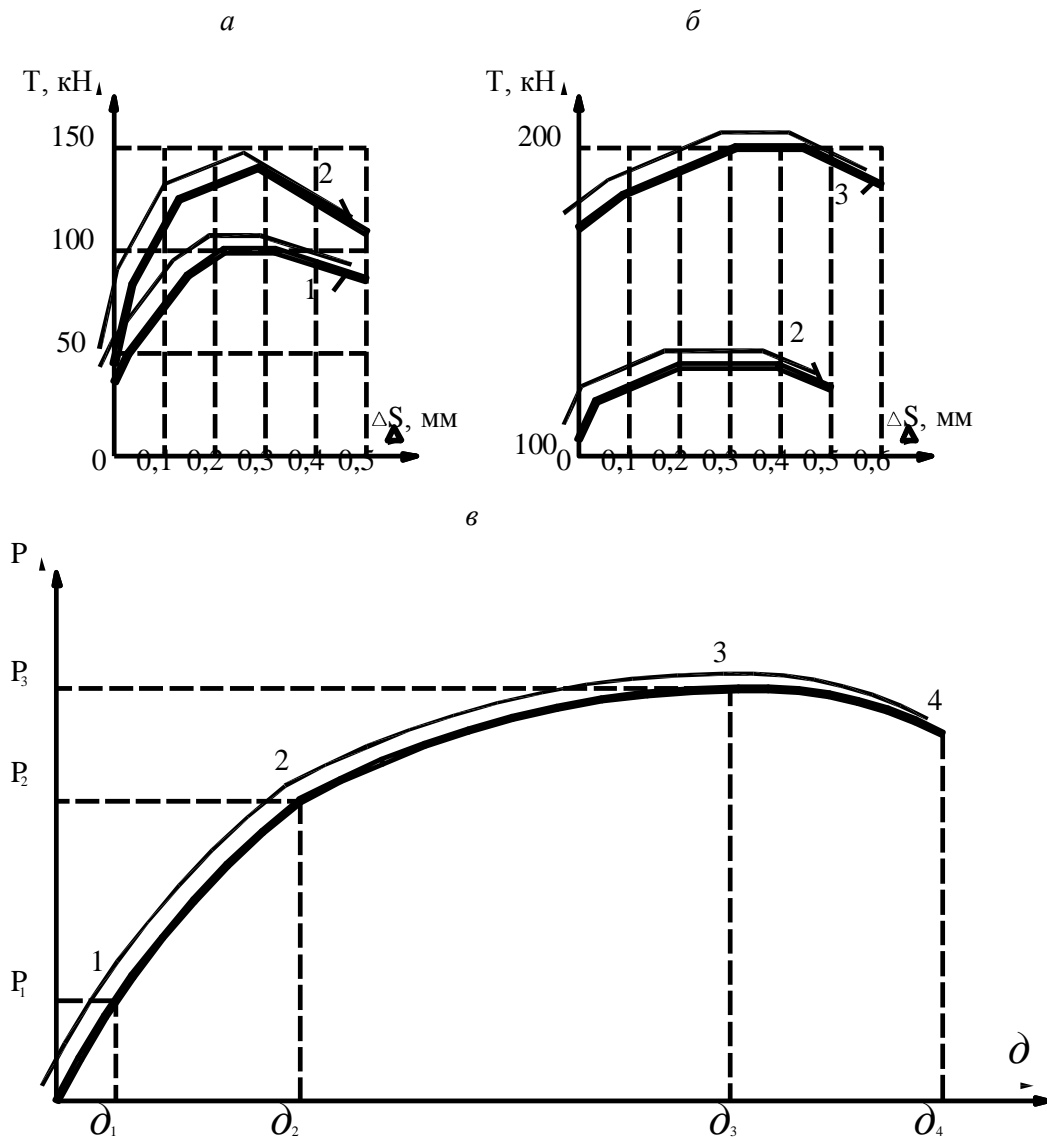


Рис.1 – Диаграммы “усилие-перемещение”: а – при нарушенном сцеплении между слоями; б – при ненарушенном сцеплении между слоями; в – типичный вид диаграммы

Как уже было отмечено, характерные точки этой диаграммы (точки 1, 2, 3, 4) определяются применительно к той или иной конструкции закладной детали расчетно-теоретическим путем, опираясь на диаграммы “ $\sigma - \varepsilon$ ” для исходных материалов с привлечением расчетных схем сопротивления анкеров. Участок 1-2 во многих случаях может быть принят линейным.

Анализ графиков “ $P - \delta$ ” показывает, что интенсивный рост деформаций после точки 2 (при $P_2 \geq 0,45 P_3$), свидетельствует о начале разрушения сопряжения закладной детали с бетоном из-за накопления больших остаточных деформаций, трещин и выколов. Можно считать, что деталь на участке выше точки 2 находится в критическом, предаварийном состоянии [2].

Здесь, при действии отрывающей нагрузки (рис. 2а – “Работа закладной детали на отрыв”) предельное состояние может наступить в результате:

- потери сцепления анкеров с бетоном;
- выкалывания бетона заделки вместе с анкерами;
- текучести анкеров;
- достижения заданной деформации.

При действии сдвигающей нагрузки (рис. 2) предельное состояние может наступить в результате:

- откалывания бетона (рис. 2б и рис. 2в) в направлении действия сдвигающей силы;
- выкалывания бетона (рис. 2г) вместе с анкерами;
- раскалывания бетонного элемента (рис. 2д);
- наступление краевой фибровой текучести [2];
- достижения заданной деформации.

Анализ предельных состояний первой и второй группы применительно к работе исследуемых закладных деталей позволит выявить резервы их сопротивления и внести необходимые конструктивные изменения, обеспечивающие эффективное сопротивление системы “закладная деталь – бетонная матрица”.

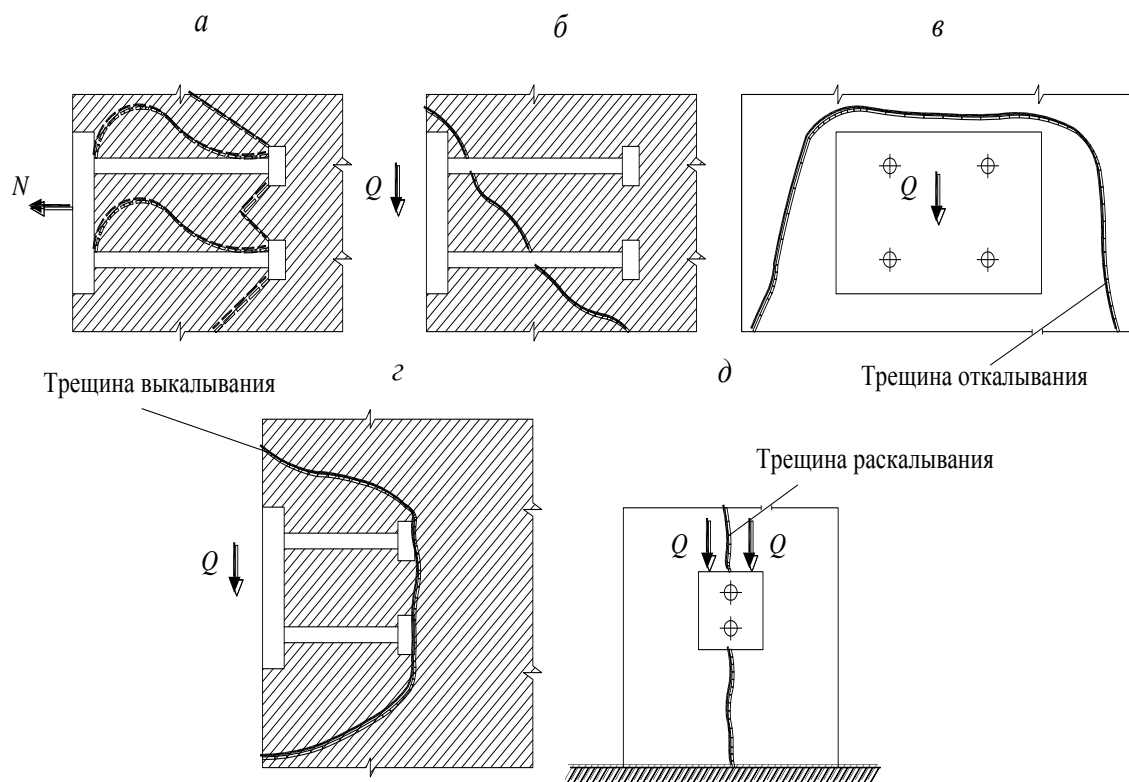


Рис. 2 – Предельное сопротивление закладных деталей

На рис. 3 показаны предлагаемые модели закладных деталей железобетонных конструкций (рис. 3.а – модель НДС закладных деталей; рис. 3.б, 3.в, 3.г, 3.д – расчетные модели закладных деталей).

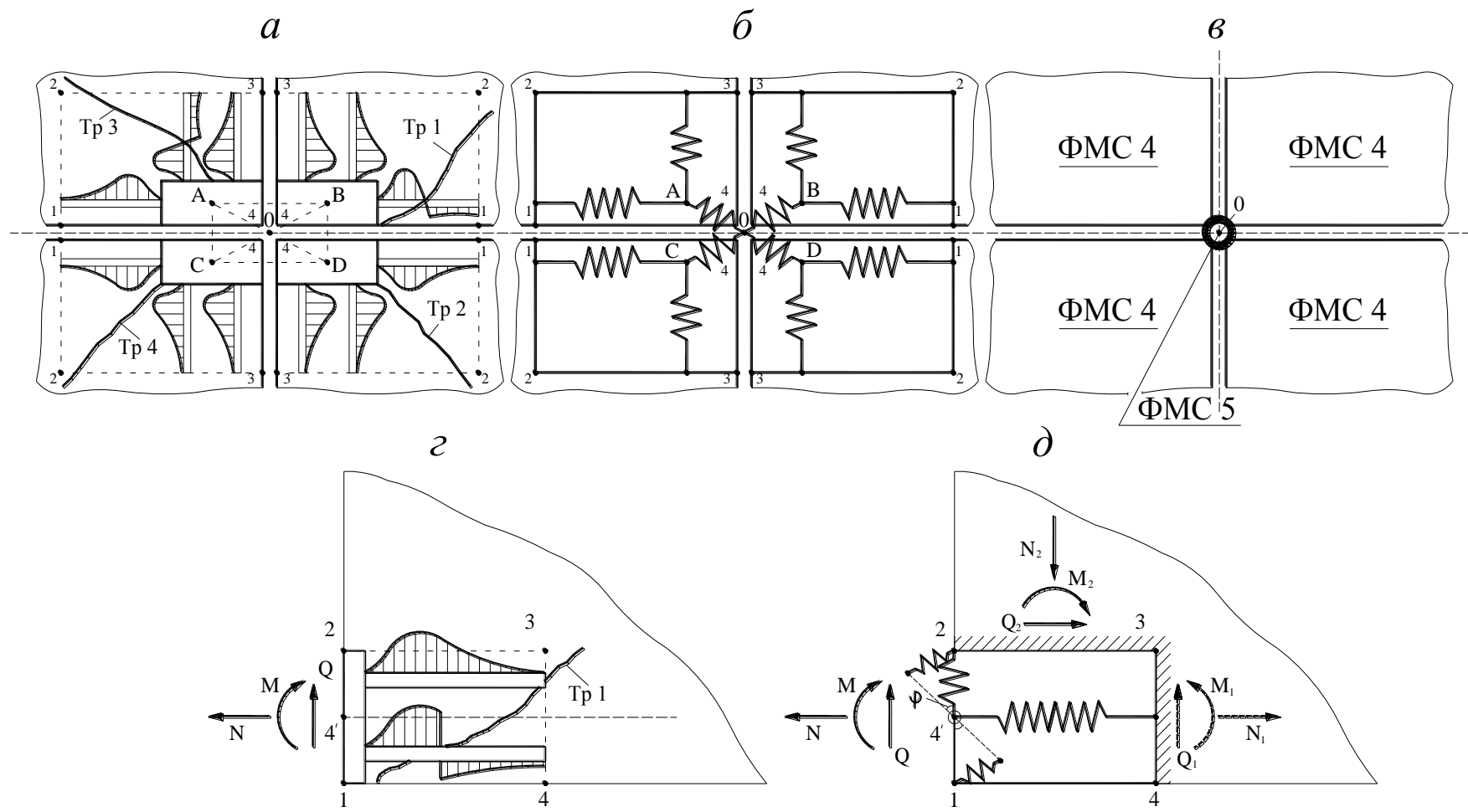


Рис. 3 – Модели закладных деталей железобетонных конструкций:
 а – модель НДС закладных деталей; б, в, г, д – расчетные модели закладных деталей

На рис. 4 и рис. 5 показаны схемы податливости пар закладных деталей при различном сочетании пар.

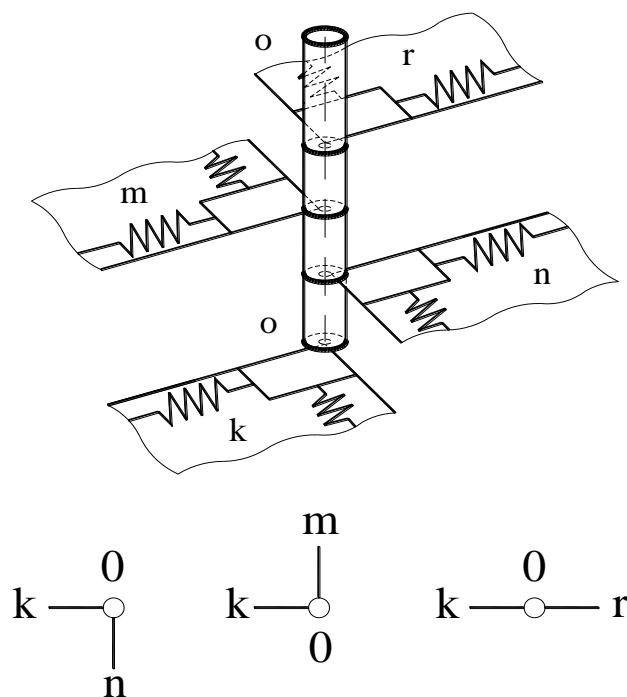


Рис. 4 – Схема податливости при первом сочетании пар закладных деталей

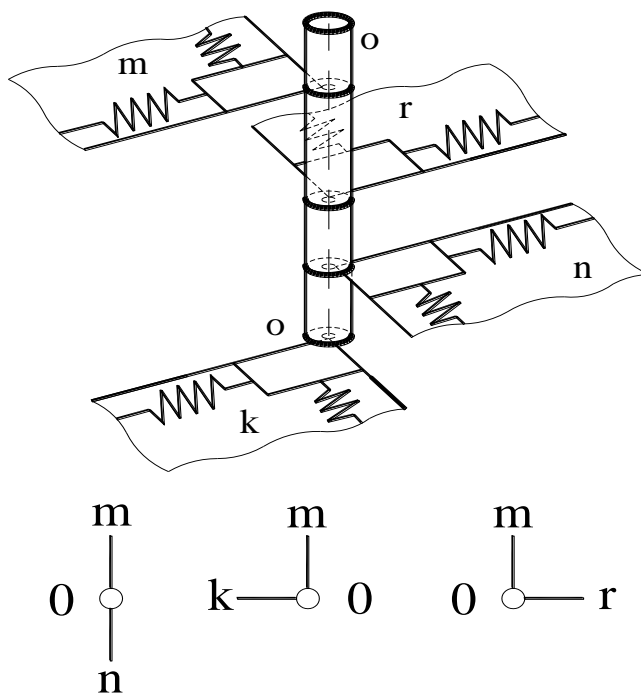


Рис. 5 – Схема податливости при втором сочетании пар закладных деталей

При этом, как показано в работе [3], различие в сочетании податливых пар не оказывает влияние на конечный результат расчета ввиду его относительности.

Следует отметить, что в процессе разработки методики оценки сопротивления закладных деталей железобетонных конструкций рассматривался вариант учета податливости узлов – через крутильную жесткость специальных податливых пар смотри формулу (1).

Для этого варианта изгибная жесткость (кривизна) узловых стержней принимается постоянной, равной, например, их приведенной жесткости (кривизне) поперечных сечений. Несоответствие между действительной и принятой жесткостями узловых стержней компенсируется с помощью податливых пар, крутильная жесткость определяется по формуле:

$$[GJ_t] = \frac{M_j^2 b}{\Delta A_j}, \quad (1)$$

где M_j – разность изгибающих моментов в точке O для узловых стержней, образующих j –ю податливую пару; b – толщина узла; ΔA_j – разность внутренних работ для узловых консольных стержней, образующих j –ю податливую пару.

Для оценки прочности и трещиностойкости узла используется напряженно-деформированное состояние узловых консольных стержней (рис. 6), вырезанные в соответствии с рис. 3,г. Заметим, что их взаимные угловые перемещения в точке O можно использовать и для получения упрощенного определения крутильной жесткости.

Вырезанные консоли используются для расчета закладных деталей по первой и второй группам предельных состояний. Окрестности вырезов принимаются такими, чтобы в них вписывались схемы разрушения, приведенные на рис. 2, а также длина консоли принимается не менее длины зоны заанкеривания и ширина консоли принимается с учетом того, чтобы с каждой стороны боковой поверхности рабочей арматуры закладной детали оставалось не менее шести диаметров бетонной матрицы. Последние требования позволяют решить задачу сопротивления околоарматурной зоны и, таким образом, учесть податливость закладной детали в бетонной матрице относительно выбранного центра. При этом важным является распределение деформаций и напряжений в бетоне и арматуре в местах сделанных сечений.

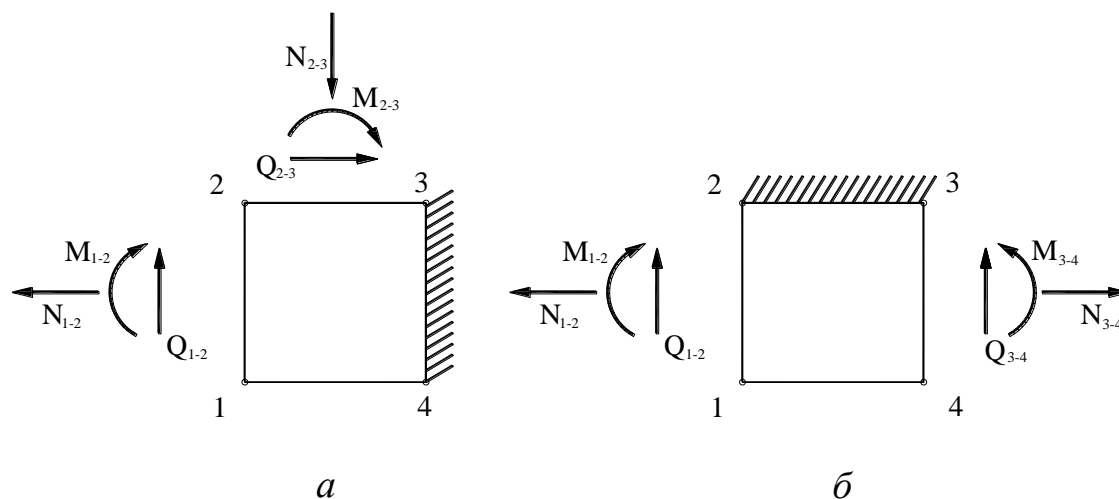


Рис. 6 – Вырезание консоли для расчета закладных деталей

Эта задача решается аналогично физической модели сопротивления узловой зоны [3]. Здесь представляется возможным даже учитывать концентрацию деформаций (напряжений) в соответствующих местах (при резкой смене материала или геометрических размеров).

Таким образом, построена методика разработки физических моделей сопротивления закладных деталей. Теперь, располагая набором основных типов закладных деталей, используемых в железобетонных конструкциях, можно получить справочные таблицы для нормативных документов, что, безусловно, заслуживает пристального внимания проектировщиков и позволит заметно приблизить выполняемые расчеты (в первую очередь – в пространственной постановке) к действительности. Предложенные в данной работе предпосылки расчетного аппарата являются общими и позволяют достраивать на единой методологической основе любые недостающие модели сопротивления элементов железобетонных конструкций, обусловленные практической потребностью. Следует заметить, что при этом в значительной мере отпадает необходимость в проведении обширных трудоемких экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Байков В.Н., Фролов А.К.* Анализ деформируемости узлового соединения ригелей с колоннами // Бетон и железобетон. – 1978, № 2. – С. 19-20.
2. *Шитиков Б.А.* О предельных состояниях закладных деталей железобетонных конструкций. В кн.: Совершенствование железобетонных конструкций // Труды НИИЖБ / Выпуск 27 // Под. ред. А.П. Васильева. – М., 1978. – С. 165-177.
3. *Верюжский Ю. В., Колчунов В. И.* Методы механики железобетона. Учебное пособие. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 653 с.