

## ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗРУШЕНИЯ ВСЛЕДСТВИЕ ОСОБОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТАЛЬНЫМ КОНСТРУКЦИЯМ

Надольский В. В., Тур А. В., Конашков А. О.

*Annotation:* At present, much attention is paid to the problem of calculating buildings taking into account accidental loads. With the introduction of ТКР EN 1991-1-7, the situation has changed significantly for the better. However, in some cases the requirements of the standard are very unconcrete, which leads to their subjective interpretation. Even more practical implementation is complicated by the fact that these requirements are quite new for the designers of the post-Soviet space and the lack of explanatory literature. Inaccuracies in the method of localised failure in buildings from an unspecified cause are demonstrated in the article.

**Введение.** На сегодняшний день проблема живучести зданий на территории постсоветского пространства является малоисследованной, а её обеспечение остается актуальной задачей при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружения. Существует множество примеров аварий, после которых здание имело серьезные повреждения, которым сопутствовали большие человеческие жертвы. Нужно отметить, что причиной аварий не была целенаправленная террористическая деятельность или военные действия, а обычные случаи, возможные при эксплуатации здания. К последнему из таких случаев можно причислить взрыв бытового газа жилого панельного дома в Ижевске, в результате чего обрушилась угловая секция дома. Основной причиной вышеизложенного является отсутствие единой и «четкой» методики и концепции для обеспечения живучести конструкции по национальным нормам. С введением системы Еврокода ситуация изменилась в лучшую сторону, так в рамках ТКР EN 1991-1-7 [1] изложены стратегии при расчете особых воздействий.

Термин «живучесть» часто используют в общих чертах, при определении жесткости, прочности, долговечности, и, тем не менее, согласно Еврокоду оно имеет точное определение. Живучесть – свойство конструкции противостоять таким событиям, как пожар, взрыв, удар или результат человеческих ошибок, без возникновения повреждений, которые были бы непропорциональны причине, вызвавшей повреждения. Из определения можно сделать несколько выводов: 1) конструкция, рассчитанная и сконструированная на определенную живучесть, не будет страдать от локального обрушения; 2) непропорциональное обрушение не произойдет, если здание рассчитать на влияния особых событий. Особое воздействие в системе Еврокода определяется как кратковременное воздействие с низкой вероятностью тяжелых последствий. Типичные примеры – это пожар, взрыв, землетрясения, удар, наводнение, лавины, оползни и так далее. Следует отметить, что некоторые из особых воздействий, в частности от человеческих ошибок, детально предусмотреть невозможно. Поэтому особые воздействия могут быть *идентифицированными* и *неидентифицированными*. Идентифицированное воздействие возможно проанализировать, используя расчетные методы посредством подтверждения необходимого сопротивления для

восприятия данного особого воздействия. Неидентифицированное воздействие, соответственно, невозможно проанализировать расчетным путем, так как невозможно определить как его направление, так и его интенсивность.

Одной из основных проблем, с которой сталкиваются современные нормы проектирования, является то, что они фокусируют внимание на традиционном, исторически выработанном и относительно малом перечне воздействий (климатические воздействия, сейсмические воздействия и т. д.). Современная строительная практика, как и социально-политические изменения, показывает рост воздействий (угроз), которые исторически не рассматривались как существенные в процессе проектирования (например, взрыв или детонация) или исключались скорее системой мер безопасности, чем конструктивными расчетами.

Следует отметить, что европейским комитетом планируется разработка самостоятельного нормативного документа “ROBUSTNESS” (живучесть) со своими правилами и положениями, не являющимся частью ТКП EN 1991-1-7 [1]. Это ещё раз подчёркивает, что вопрос живучести является достаточно обширным и требующим дополнительной и тщательной проработки.

**Вероятность обрушения конструктивной системы при реализации особого события.** В общем случае, если каждую из угроз представить случайным событием  $H_i$ , тогда полная вероятность обрушения конструктивной системы при реализации особого события (угрозы) может быть записана следующим образом:

$$P(F) = \sum_{i \geq 1} P(F|DH_i)P(DH_i|H_i)P(H_i), \quad (1)$$

где  $F$  – событие, определяемое как непропорциональное или прогрессирующее обрушение конструктивной системы;

$P(H_i)$  – вероятность появления особого события;

$P(DH_i|H_i)$  – условная вероятность локального разрушения отдельного конструктивного элемента при реализации особого события;

$P(F|DH_i)$  – условная вероятность обрушения конструктивной системы при условии, что произойдет локальное разрушение отдельного элемента при реализации особого события  $H_i$ .

Термином  $P(F)$  обозначена полная вероятность обрушения здания, которую следует ограничивать некоторым социально приемлемым значением (в большинстве норм  $P(F) \approx 10^{-7}/\text{год}$ ). Несложно видеть, что снижение вероятности наступления непропорционального обрушения конструктивной системы может быть получено снижением либо каждой отдельной, либо всех трех вероятностей, входящих в формулу (1). При этом вероятность  $P(H_i)$  может контролироваться объемно-планировочным решением или размещением здания на генплане, снижением возможных рисков внутри здания при организованных мерах безопасности, обучением персонала и т. д. При реализации таких мер многие риски могут быть эффективно предотвращены (например: террористические или криминальные атаки). Проектная стратегия, направленная на обеспечение сопротивления локальному разрушению, сводится к минимизации вероятности

$P(DH_i|H_i)$ . Эта стратегия может быть труднореализуемой (в силу неопределенности величины и направления особых воздействий), содержать значительные риски или изначально давать неэкономичные результаты.

Рассматривая ситуацию после реализации локального разрушения, т. е. когда  $P(DH_i|H_i) \approx 1$ , полная вероятность  $P(F)$  будет равна:

$$P(F) = \sum_{i \geq 1} P(F|DH_i)P(H_i). \quad (2)$$

Таким образом, задача проектирования в особой расчетной ситуации сводится главным образом к минимизации вероятности  $P(F|DH_i)$ . Эта стратегия должна реализовываться в широком диапазоне: от конструктивных мер, направленных на создание неразрезности и конструктивной целостности системы до прямого расчета поврежденной конструктивной системы с учетом эффектов, которые не учитываются при традиционном проектировании (например: динамический характер приложения нагрузки, мембранные усилия в перекрытиях, большие деформации и перемещения, физическая и геометрическая нелинейность).

**Сведения о стратегиях восприятия особого воздействия.** В зависимости от сооружения и рода особого воздействия существуют разные стратегии для обеспечения живучести конструкции (рисунок 1).

ПРОЕКТНАЯ СТРАТЕГИЯ	предотвратить развитие обрушения	предотвратить инициацию обрушения	
	оказывая влияние на поведение конструктивной системы в целом	оказывая влияние на локальное поведение элемента	оказывая влияние на особое событие
$P(F)$	$P(F DH)$	$P(DH H)$	$P(H)$
сопротивление обрушению	<b>ЖИВУЧЕСТЬ</b>	локальное сопротивление или защита	контроль событий

*Рисунок 1 – Проектные стратегии, направленные на ограничение вероятности наступления прогрессирующего обрушения*

Все методы (меры) предотвращения или ограничения последствий прогрессирующего обрушения конструкций можно разделить на **прямой** расчетный метод и **непрямой (косвенный)** расчетный метод (рисунок 2).

	P(F)	P(F DH)	P(DH H)	P(H)
<b>непрямой (косвенный) расчётный метод</b>		<b>ЖИВУЧЕСТЬ</b> постановка необходимого кол-ва связей (вертик./гориз.) СУ-метод конструирование сегментация здания	<b>локальное сопряжение</b>	описательные правила
<b>прямой расчётный метод АТ-метод</b>				расчёт сопротивления ключевого элемента КЕ-метод
<b>не-конструкционные методы</b>			<b>ЗАЩИТА</b> защита от особого воздействия	<b>контроль событий</b> предотвратить снизить интенсивность снизить вероятность

*Рисунок 2 – Методы расчёта на прогрессирующее обрушения*

В рамках непрямого (косвенного) метода интегральная целостность здания обеспечивается при постановке системы горизонтальных и вертикальных связей, предназначенных для восприятия и перераспределения эффектов от особых воздействий на участках перекрытия, расположенных над удаленным вертикальным элементом. Следует отметить, что непрямой (косвенный) метод, называемый часто **методом связевых усилий** (СУ–метод), хотя это название не в полной мере отражает разнообразие непрямого метода, требует от инженера выполнения минимальных вычислительных операций по определению величины связевых усилий и сосредоточен в основном на правильном конструировании элементов системы. Поэтому метод связевых усилий (СУ–метод) является, главным образом, описательно-конструкционным методом, обеспечивающим минимальный уровень связности между отдельными конструктивными элементами (компонентами), входящими в конструктивную систему. В рамки непрямого расчетного подхода включены требования: 1) по компоновке конструктивной системы, объемно-планировочных решений, положения зданий на генплане; 2) проектирование интегрированной системы вертикальных и горизонтальных связей; 3) по изменению направления пролетов в плитах перекрытий; 4) по созданию внутренних несущих секций, ячеек, элементов ядер жесткости; 5) по учету мембранного эффекта в перекрытиях и балочных усилий в стенах; 6) по проектированию резервных конструктивных элементов. В общем случае, вместо проверочных расчетов, показывающих эффекты от аномального (особого) воздействия на здание в целом, выполняется конструирование отдельных элементов для обеспечения минимальной живучести конструктивной системы. Метод связевых усилий на данном этапе рассматривается как основной и наиболее обоснованный метод, обеспечивающий минимальные требования живучести конструктивных систем в особых расчетных ситуациях.

В рамках данной статьи акцент сделан на стратегиях, используемых для неидентифицированных особых воздействий, т. к. для большинства зданий потенциальное особое воздействие останется неидентифицированным, и поэтому

подход к ограничению степени локального разрушения, скорее всего, можно считать общей стратегией.

**Выбор стратегии восприятия особого воздействия.** Для каждого сооружения, в зависимости от назначения, числа людей, постоянно находящихся в нем, типа несущих конструкций, общественной реакции на последствия разрушения, согласно ТКП EN 1991-1-7, существуют классы по последствиям разрушения, для которых установлены разные стратегии восприятия особого воздействия:

*Здания, соответствующие 1 классу по последствиям разрушения.* Для здания со стальным каркасом, спроектированным в соответствии с правилами, приведенными в ТКП EN 1993, дополнительный учет особых воздействий от неустановленной причины не требуется.

*Здания, соответствующие 2a классу по последствиям разрушения.* В дополнение к стратегии, рекомендованной для класса 1 по последствиям разрушения, следует предусмотреть эффективные горизонтальные связи или эффективное закрепление перекрытий в стенах (несущих или самонесущих).

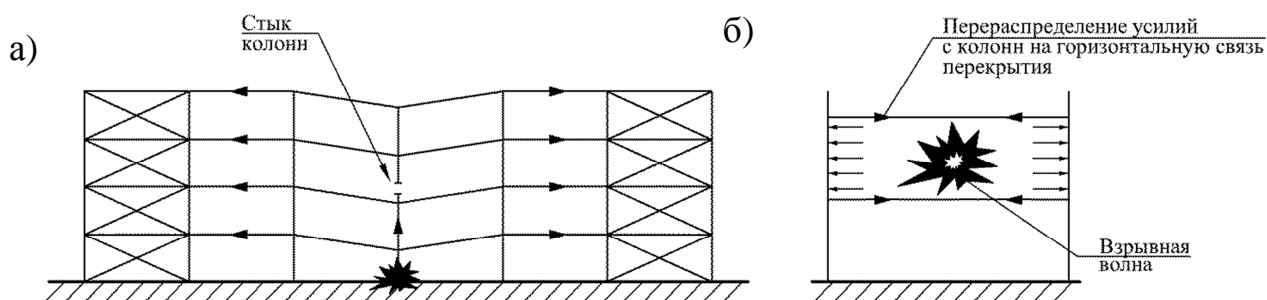
*Здания, соответствующие 2b классу по последствиям разрушения.* Необходимо обеспечить устройство эффективных горизонтальных связей совместно с эффективными вертикальными связями (метод связевых усилий) или, в качестве альтернативы, необходимо выполнить проверку общей устойчивости здания с учетом местного удаления элемента конструкции (метод условного удаления). Если условное удаление таких элементов вызывает превышение установленных пределов повреждения, то такие элементы следует рассчитывать как ключевые элементы (метод ключевого элемента). Допускается сочетать методы внутри одного и того же здания, т. е. здание может в целом удовлетворять связевому методу, но в части здания могут применяться методы условного удаления или ключевых элементов.

*Здания, соответствующие 3 классу по последствиям разрушения.* Для зданий требуется систематическая оценка риска с учетом прогнозируемых и не прогнозируемых угроз. Систематическая оценка рисков – это основное различие между стратегиями живучести для зданий 3 и 2 класса. Цель оценки рисков – определить, существуют ли какие-либо сценарии угрозы, которые имеют неприемлемый уровень риска, и если да, то предлагать меры по уменьшению этих рисков. Основой для оценки риска является то, что стратегия живучести зданий класса 2b применяется как минимальное требование.

#### **Метод связевых усилий (СУ-метод)**

**Горизонтальные связи.** Горизонтальные связи (для зданий со стальным каркасом, как правило, это балки с узлами их крепления) предназначены для фиксации колонн в пространстве от смещения (т. е. позволяют колоннам функционировать по своему назначению) при возникновении особого воздействия и позволяют перераспределять усилия от особого воздействия путем формирования линий связевых усилий относительно поврежденного участка конструкции (рисунок 3). При этом не учитываются требования, касающиеся совместной пластичности или совместной вращательной способности балок. Для зданий класса 2a не предъявляется требование по обеспечению вертикальных связей, поэтому вертикальные усилия в колоннах, рисунок 3а, перераспределяются по вертикали до первого стыка колонны (в случае если стык рассчитан на восприятие меньшего усилия). В случае особого воздействия, проиллюстрированного

на рис. 3б, горизонтальные силы, приложенные к колонне, перераспределятся в диск перекрытия за счет закрепления на горизонтальную связь (в данном случае балку), а колонна продолжит воспринимать вертикальные усилия. Это позволит предотвратить падение элементов вышерасположенных перекрытий.



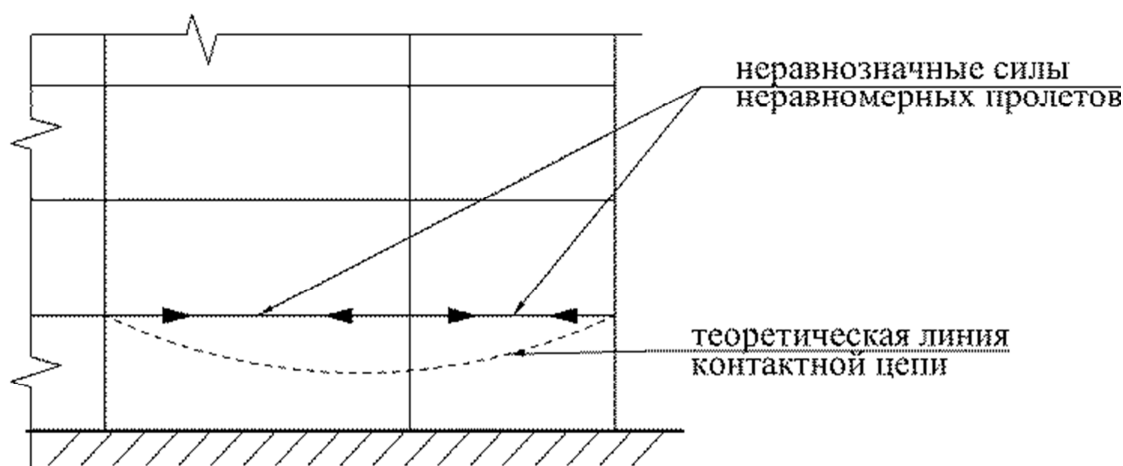
а) развитие линии горизонтальных связей; б) перераспределение горизонтальной нагрузки на диск перекрытия посредством горизонтальных связей

**Рисунок 3 – Реализация особого воздействия**

Горизонтальные связи следует размещать по периметру (преимущественно по краям перекрытия) и внутри (в двух ортогональных направлениях) каждого этажа и в уровне диска кровли. Также следует отметить, что горизонтальные связи должны быть непрерывными. Однако в Еврокоде не делается разъяснения, что предпринимать, если связь прерывается, например, отверстием в перекрытии. Согласно [4] по периметру проема рекомендуется применять требования к связям, расположенным по периметру здания.

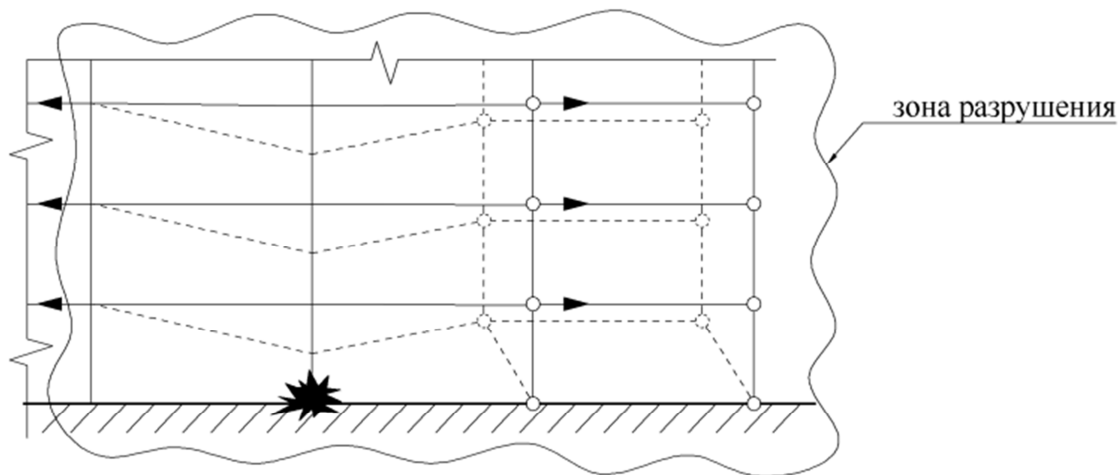
Горизонтальные связи должны располагаться по осям колонн так близко, как это практически возможно, однако если это конструктивно невозможно, тогда как минимум 30% связей должно размещаться в непосредственной близости к осевым линиям колонн. Критерий близости в Еврокоде не установлен, но во многих источниках их рекомендуется располагать на расстоянии не более четверти шага колонн.

Несоответствие в методе связевых усилий возникает при рассмотрении здания с разным шагом колонн. В этом случае линия связей состоит из балок с неравными пролетами (рисунок 4), и, следовательно, в продольном направлении связевое усилие в ней будет отличаться. Такая же теоретическая несогласованность может возникать, когда на балки приложены разные уровни нагрузки.



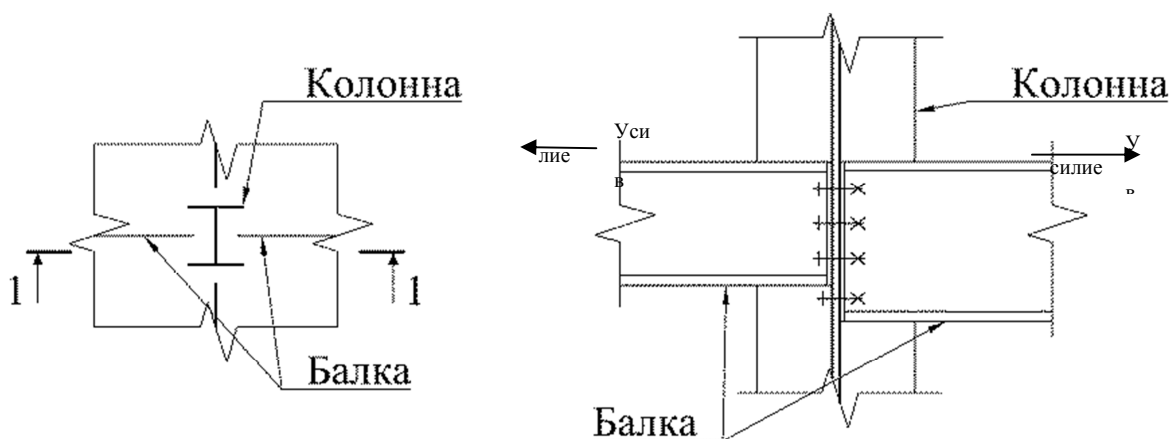
**Рисунок 4 – Связевое усилие в неравных пролетах**

Определенное несоответствие в методе связевых усилий проявляется при рассмотрении крайних рядов здания с шарнирной схемой соединения элементов. В этом случае, наоборот, может возникнуть развитие зоны разрушения, а не ее локализация.



**Рисунок 5 – Развитие зоны разрушения при шарнирной схеме соединения элементов**

При расчете горизонтальных связей необходимо рассчитать не только связевые элементы (балки), но и узлы крепления. Это требование трудно интерпретировать, когда два связевых элемента (балки) соединяются через стенку поперечной балки с двух сторон или стенку колонны, как показано на рисунке 6. В такой ситуации стенка балки или колонны является частью узла и должна проектироваться на восприятие связевого усилия от особого воздействия. В зависимости от длины балки и величины нагрузки, связевое воздействие, с каждой стороны балки, может иметь разные величины. Однако связевые воздействия не складываются, потому что допускается не рассматривать оба связевых усилия, действующих одновременно. Следовательно, стенка балки и соединительные болты должны проектироваться с учетом наибольшего из двух связевых усилий. При этом не отмечено, следует ли рассчитывать опорный элемент (колонну или балку) на восприятие поперечного изгиба от связевого усилия.



**Рисунок 6 – Связевое усилие в стенке балки**

Еще одно из несоответствий возникает в случае неразрезных балок, когда усилия на колонны распределяются не в соответствии с шарнирной схемой по грузовым площадям, а по более сложной схеме с учетом неразрезности.

Возникает также вопрос, следует ли рассчитывать базы колонн на восприятие связевого усилия, так как в ряде источников идет пояснение, что метод связевых усилий также позволяет локализовать разрушение при взрывах (см. рис. 7). Однако в этом случае возникает вопрос: на какое усилие необходимо считать базу колонны.

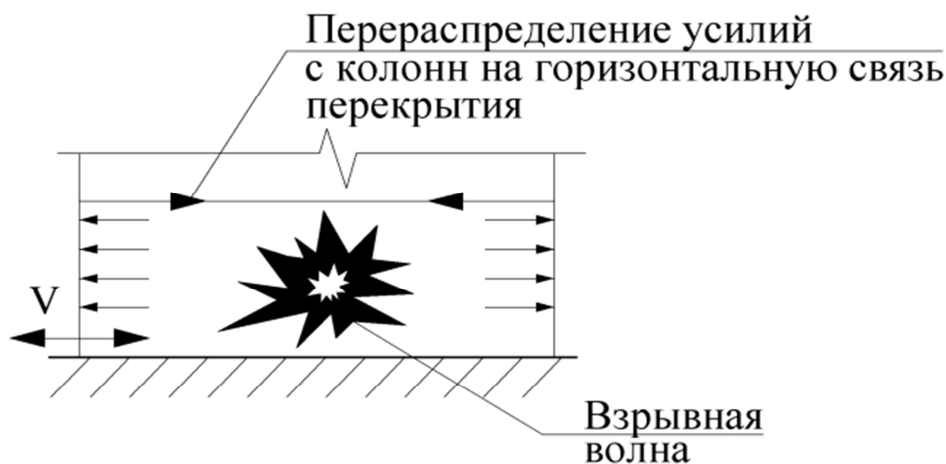


Рисунок 7 – Связевое усилие в базе колонны

В соответствии с методом связевых усилий минимальное значение силы для расчета связи составляет 75 кН, однако, например, для многих легких стальных конструкций такое требование может вызвать усложнение и утяжеление конструкции.

**Вертикальные связи.** Вертикальные связи как и горизонтальные связи, помогают ограничить риск обрушения вышерасположенных этажей при особом воздействии. Вертикальные связи должны:

- обеспечить непрерывность передачи связевого усилия в колоннах, то есть каждая колонна непрерывно связывается от фундамента до покрытия;
- воспринимать расчетное особое растягивающее усилие, равное наибольшей расчетной вертикальной реакции от постоянной или переменной нагрузок, приложенной к колоннам любого этажа<sup>5</sup>. Также особое воздействие не сочетается с другими нагрузками.

Однако в ТКП EN 1991-1-7 [1] не уточняется, при каком сочетании нагрузок должна быть определена реакция от этажа. Еще одно обстоятельство, на которое не обращают внимания, это то, что для расчета вертикальной связи необходимо брать наибольшую реакцию из всех этажей, это требование вытекает из необходимости обеспечить непрерывность и перераспределение связевого усилия по высоте здания.

Требования относятся к колоннам, соединяющимся от уровня фундаментов до уровня покрытия. Однако в Еврокоде не делается разъяснения в случае, когда колонна не доходит до покрытия или когда база колонны находится на передающей поддерживающей балке. Согласно источнику [4], колонны в зданиях класса 2b должны быть соединены вертикально от своей базы до верха, независимо от того, совпадают ли они с уровнем фундамента или уровнем покрытия. Если база колонны не находится на уровне фундамента, то база колонны должна

<sup>5</sup> "...carrying vertical actions should be capable of resisting an accidental design tensile force equal to the largest design vertical permanent and variable load reaction applied to the column from any one storey" [1].



быть соединена вертикально к конструкции каркаса на этом уровне. Если верхняя часть колонны не находится на уровне покрытия, верхняя часть колонны должна быть привязана вертикально к конструкции каркаса на этом уровне.

### **Метод альтернативных траекторий (АТ-метод)**

**Метод условного удаления.** Предоставляет собой альтернативный вариант метода связевых усилий. Преимуществом данной стратегии является то, что вместо соблюдения предписывающих правил (используемых в методе связевых усилий) рассматриваются более конкретные сценарии повреждений, в соответствии с которыми необходимо оценивать площадь ущерба от разрушения несущего элемента, то есть способность зданий локализовать разрушение. Однако, стратегия условного удаления, как правило, будет эффективной только для сетки колонн с небольшими пролетами. С практической точки зрения преимущество метода состоит в том, что если конструкция имеет достаточно малые пролеты балок и если элементы конструкции хорошо взаимосвязаны, то условное удаление удовлетворяет правилам живучести с учетом локального разрушения. Данный метод может использоваться также если по какой-то причине невозможно полностью выполнить правила метода связевых усилий.

В рамках стратегии условного удаления каждый несущий элемент необходимо удалить один раз, чтобы удостовериться о не превышении допустимого предела локального повреждения и устойчивости здания, при этом:

а) условно удаляемым несущим элементом является колонна (длиной, равной расстоянию между соседними этажами) или балка, несущая одну или несколько колонн;

б) предел допустимого локального разрушения при удалении колонны или несущей стены должен составлять не более 15% от общей площади перекрытия (покрытия) в каждом из двух соседних этажей и не более 100 м<sup>2</sup>. Предел допустимого повреждения допускает разрушения площади перекрытия на двух отдельных этажах, но это не означает, что разрушение площади перекрытия обязательно будет на двух этажах или что разрушения площади перекрытия не произойдет на более чем на двух этажах;

с) при условном удалении какого-либо одного несущего элемента конструкции должна сохраняться устойчивость здания в целом;

д) если условное удаление любого несущего элемента приведет к большей площади разрушения, чем допустимо локальным повреждением, элемент должен быть разработан в качестве ключевого элемента;

е) если условное удаление несущего элемента приведет к неустойчивости здания, такой элемент должен быть разработан в качестве ключевого элемента.

Также в Еврокоде не определены критерии разрушения, процедура оценки области разрушения, способы и модели расчета схемы с удаленным элементом.

**Метод ключевых элементов.** Применяется, когда условное удаление несущих элементов привело к превышению предела допустимого повреждения. Метод направлен на предотвращение повреждения несущего элемента (в той степени, когда он не может обеспечить необходимую несущую способность) после особого события и, таким образом, предотвращается чрезмерный отказ элемента. Для метода ключевых элементов ниже приведены основные конструктивные требования:

а) ключевые элементы должны быть способны выдерживать особое расчетное воздействие  $A_d$ , действующее в горизонтальном или вертикальном направ-

лениях (в одном направлении за раз) к элементу и любым присоединенным компонентам<sup>6</sup>;

b) рекомендуемое значение  $A_d$  для строительных конструкций составляет  $34 \text{ кН/м}^2$ ;

c) особое расчетное воздействие должно применяться к ключевому элементу и к прикрепленным к нему компонентам с учетом несущей способности прикрепленных компонентов и их соединений;

d) особая расчетная нагрузка должна применяться в сочетании с другими нагрузками в соответствии с комбинацией (6.11b) ТКП EN 1990 [2].

Оценка того, что останется прикрепленным к ключевому элементу, очевидно, является очень субъективной.

Еще одно из несоответствий возникает в случае, когда рассматривается особая нагрузка на больших площадях (например, покрытие с фермами) разумно было бы ограничить площадь, которая подвергается нагрузке  $34 \text{ кН/м}^2$ , потому что давление от взрыва вряд ли будет равномерным на всех поверхностях большого пространства.

**Заключение.** В настоящее время большое внимание уделяется вопросу расчета зданий с учетом особых воздействий. С введением ТКП EN 1991-1-7 [1] ситуация значительно изменилась в лучшую сторону, однако, как показал обзор стратегии локализации последствий разрушения, требования стандарта являются очень неконкретными в ряде случаев, что приводит к их субъективному толкованию. Еще больше практическая реализация осложняется тем, что данные требования являются довольно новыми для проектировщиков постсоветского пространства и отсутствием разъяснительной литературы. В результате анализа были выявлены следующие неточности:

- для горизонтальных связей: 1) случай прерывания горизонтальной связи отверстием в перекрытии; 2) не установлен критерий близости расположения горизонтальных связей к осевой линии колонн; 3) случай распределения усилий в горизонтальных связях при неравных пролетах, разных уровнях нагрузок в смежных пролетах; 4) случай соединения горизонтальных связей через стенку балки, колонны; 5) случай распределения усилий в неразрезных балках;

- для вертикальных связей: 1) случай обеспечения непрерывности для колонн, конструктивно невозможных связать от фундамента до покрытия; 2) не уточняется при каком сочетании нагрузок должна быть определена реакция от этажа;

- для метода условного удаления: отсутствует информация по данному методу, не определены критерии разрушения, процедура оценки области разрушения;

- отсутствует научно-обоснованный подход к выбору особого сочетания воздействий с соответствующими коэффициентами сочетания. Так же отсутствует четко обозначенный критерий проверки, т. е. с каким уровнем предельно допустимой динамической нагрузки необходимо сравнить данное сочетание и как его найти;

---

<sup>6</sup> *should be capable of sustaining an accidental design action of  $A_d$  applied in horizontal and vertical directions (in one direction at a time) to the member and any attached components having regard to the ultimate strength of such components and their connections [1].*

- для метода ключевых элементов: случай приложения особой нагрузки на элементы, прикрепленные к ключевому элементу.

#### Список цитированных источников

1. Воздействия на конструкции: ТКП EN 1991-1-7-2009. – Часть 1-7. Общие воздействия. Особые воздействия.
2. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990-2011\*.
3. SCI P391 Structural robustness of steel framed buildings. Silwood Park, Ascot, Berkshire. SL5 7QN UK, 2011 – 132 p.

## УДК 624.04

### ЕВРОПЕЙСКАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ТРУБ

*Надольский В. В., Бояринцева Е. С.*

***Annotation:** At present, the flange (end plate splices) connection is one of the most popular and effective types of bolt-joint assembly of hollow section elements, in particular for connecting tensioned chord of trusses. In the Republic of Belarus today, calculations of steel structures are carried out in accordance with the requirements of SNiP II-23-81 \* or Eurocode 3, but in these standards there are no methods for calculating the flange connection of elements from the hollow profile. This circumstance causes difficulties in designing flange connections of elements from pipes. In the domestic practice, the availability of recommendations, series and literature make this situation much easier. The European standardization system does not provide a calculation of the flange connection of elements from hollow section. In this regard, the review of the methodology used in Europe has great practical and theoretical interest.*

**Введение.** Фланцевое соединение в настоящее время является одним из наиболее популярных и эффективных типов монтажного болтового соединения элементов из труб, в особенности для соединения растянутых поясов ферм (рис. 1). В Республике Беларусь сегодня расчеты стальных конструкций ведутся согласно требованиям СНиП II-23-81\* [1] или Еврокоду 3 [2], но в данных стандартах нет методик по расчету фланцевого соединения элементов из замкнутого профиля. Это обстоятельство вызывает трудности при проектировании фланцевых соединений элементов из труб. В отечественной практике значительно облегчают эту ситуацию «Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций» [3], «Пособие по проектированию к СНиП II-23-81\*» [4], «Серия по применению ферм из труб» [5], СТО 0041-2004 [6] и освещенность данного вопроса в отечественной литературе, например [7, 8]. В европейской системе нормирования ТКП EN 1993-1-8-2009 «Стальные конструкции. Расчет соединений» [3] существуют разделы, посвященные расчету фланцевых соединений элементов из двутавров (раздел 6) и узлов сопряжения элементов замкнутого профиля (раздел 7), но в данном документе не рассматриваются фланцевые соединения элементов из труб.

В связи с этим большой практический и теоретический интерес представляет европейская методика расчета NCCI: Design models for splices in structural