

Цымбаревич Т.А., аспирант, Белорусский национальный технический университет, руководитель группы, ЧУП «Оргтехстройпроект», г. Минск

Тур А.В., старший преподаватель, Брестский государственный технический университет, г. Брест

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА МЕМБРАННОГО ЭФФЕКТА ПРИ ПРОГРЕССИРУЮЩЕМ РАЗРУШЕНИИ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЗДАНИЯ

FEATURES OF ACCOUNTING MEMBRANE ACTION DURING PROGRESSIVE COLLAPSE OF STRUCTURAL SYSTEM OF BUILDING

Аннотация

Данная статья описывает живучесть и поведение железобетонных плит, балок при внезапном локальном разрушении колонны. Предложенная упрощенная модель учитывает элементы балки и систему пружин, которые описывают зависимости нагрузка-удлинение, зависимость момента угла поворота железобетонных балочных и плитных конструкций. Характеристики пружин описываются материалом, геометрией, расчетными критериями. Напряжение растяжения от осевого удлинения пружины определяется диаграммой зависимости напряжения-удлинения стали, аппроксимированной для определения неравномерности напряжений в арматуре по сечению балки.

Abstract

This paper documents study robustness and response of reinforced concrete slabs, beams following instantaneous removal of a bearing column. The proposed simplified model includes a beam element and a system of springs that represents the load extension behavior and moment rotation behavior of a reinforced concrete beams and slabs element. Spring properties are based on material, geometric, and design parameters. The tensile definition of the axial extension spring is approximated by a steel stress-strain curve modified to account for uneven stress in the steel along the length of the beam.

Предельное состояние, определяющее исчерпание живучести, работоспособности конструктивной системы многоэтажного здания яв-

ляется началом развития прогрессирующего обрушения перекрытий над местом локального разрушения колонны с неспособностью восприятия перекрытиями под местом локального разрушения дополнительных динамических нагрузок от разрушенных выше элементов. Стабилизация конструктивной системы высотного здания в условиях прогрессирующего обрушения зависит от:

1. количества разрушенных этажей над рассматриваемым;
2. способности рассеивать кинетическую энергию конструкциями одного этажа;
3. способности вертикальных несущих элементов воспринимать нагрузку от разрушенных этажей.

То есть восприятие динамических нагрузок конструкциями этажа при разрушении напрямую зависит от возможности перекрытий рассеивать кинетическую энергию падения. В зависимости от данной способности можно выделить два случая. Первый случай, когда способность рассеивания перекрытием минимальна, тогда полная энергия сохраняется и продолжает нарастать при каждом новом разрушении этажа с переходом из потенциальной энергии конструкции в кинетическую. Данный случай можно назвать, как случай жесткого удара или воздействия. Во втором случае способность рассеивания перекрытия максимальна, тогда кинетическая энергия воздействия или разрушения полностью рассеивается. Данный случай можно назвать случаем пластического удара или воздействия.

При рассмотрении реального каркаса здания с целью определения характера возможного сценария прогрессирующего обрушения необходимо определить ключевые элементы, которые влияют на развитие того или иного типа обрушения. В первую очередь необходимо проверить при удалении колонны или другого вертикального несущего конструктивного элемента, способны ли оставшиеся вертикальные несущие элементы воспринять дополнительную гравитационную нагрузку, которую воспринимала удаленная колонна. То есть предельная полная энергия, которая действует на вертикальные конструкции этажа, соответствует предельному укорочению колонн (при предельной сжимаемости материала колонн), до их разрушения [1]. Это первый критерий для не наступления прогрессирующего обрушения. При не выполнении данного критерия обрушение происходит по первому случаю, описанному ранее с жестким воздействием на нижерасположенные этажи.

Если первый критерий выполняется, то необходимо рассмотреть конструкцию перекрытия над местом локального разрушения верти-

кального несущего элемента. Существует несколько подходов, формирующих достаточную живучесть всей конструктивной системы при локальном разрушении колонны, что приводит к повышению работоспособности отдельных элементов каркаса здания:

1. проектирование конструкций этажа с возможностью работы по принципу «балки Виренделя» (см. рис. 1а);

2. конструкции над местом локального разрушения (при достаточном количестве этажей) работают по аналогии с фермой (см. рис. 1б);

3. модульная система здания, когда здание разделено по высоте аутригерными этажами, образуя модули, способные перераспределять особые нагрузки от локального разрушения (см. рис. 1в);

4. мембранный эффект конструкций перекрытия, по методике, разработанной Эллингвудом (см. рис. 1г).

Расчет и конструирование каркаса здания выполняют с возможностью работы конструктивной системы здания по принципу «балки Виренделя»: элементы этажа или блока из нескольких этажей проектируют, как безраскосные фермы.

Работа блока этажей конструктивной схемы здания возможна при достаточном количестве перекрытий, способных перераспределить растягивающие усилия. Расчет выполняется по типу фермы, имеющей растянутые элементы (балки, плиты перекрытий, колонны) и сжатые (колонны).

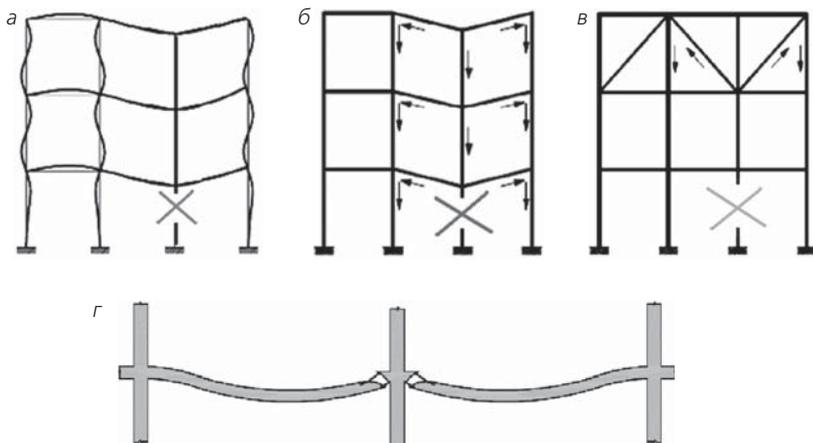


Рисунок 1. Схемы возможных сценариев работы конструкций при локальном разрушении: а – по типу «балки Виренделя»; б – по аналогии с фермой; в – аутригерные конструктивные системы; г – мембранные эффекты.

С помощью аутригерных элементов, в виде балок стенок, можно подвесить блок перекрытий над локальным разрушением в пределах модуля работы аутригера.

Мембранные эффекты в перекрытии обеспечивают восприятие вертикальных нагрузок с помощью осевых растягивающих усилий. При этом, как показывают уже выполненные исследования, усилия мембранного эффекта в полной мере проявляются при прогибах больше высоты сечения балок или плит перекрытия. То есть железобетонная балка является жестким телом, поворачивающимся относительно своей крайней точки, поэтому полное осевое усилие достигается при смещении балки ближе к диагонали первоначального расположения. При меньших прогибах, когда все еще будут приопорные участки, способные воспринимать сжимающие напряжения, влияние мембранного эффекта будет проявляться не в полной мере.

Выполнять проектирование перекрытий, способных работать в условиях осевых растягивающих усилий в закритической стадии, необходимо не по традиционным подходам. Так как в соответствии с рис. 2 мембранный эффект не возникнет из-за отсутствия достаточного армирования способного воспринимать осевые усилия, что приведет к большим прогибам.

Для повышения работоспособности перекрытия с целью увеличения живучести конструктивной системы здания рекомендуется проектировать балки и плиты со сплошным армированием с целью возможности работы с учетом мембранного эффекта (рис. 3).

Пластичность в зоне пластических шарниров, прочность перекрытия на продавливание и местный срез так же вместе с достаточной континуальностью армирования способны значительно повысить возможные осевые растягивающие усилия мембранных эффектов. При недостаточной континуальности армирования конструкций перекрытия определяющим в напряженно-деформированном состоянии плит

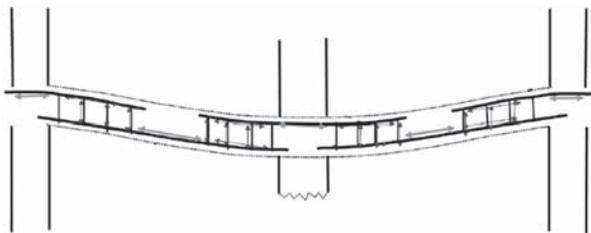


Рисунок 2. Работа железобетонных конструкций перекрытия в условиях предельного состояния при традиционном проектировании

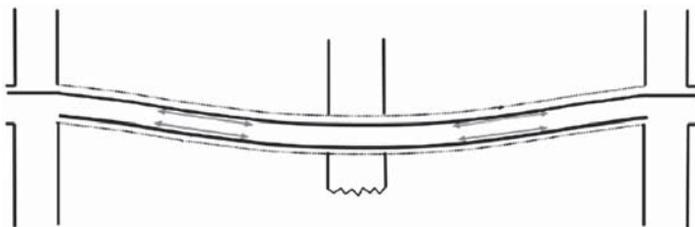


Рисунок 3. Работа конструкций перекрытия в условиях предельного состояния при возможном возникновении мембранного эффекта с армированием нижней и верхней зоны балки или плиты

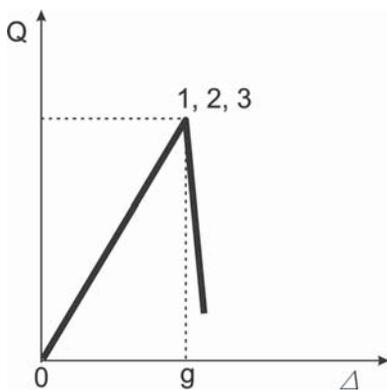


Рисунок 4. Диаграмма усилие среза-деформация

или балок будет их прочность на срез. В соответствии с [2] местный срез относится к воздействиям «force-controlled actions», характеризуемым диаграммой, представленной на рис. 4.

В случае отсутствия поперечной арматуры восприятие усилия среза при мгновенном удалении колонны нижнего этажа приведет к восприятию данных усилий только продольным армированием плиты или балки. То есть разрушение будет зависеть от целостности узла над удаленной колонной, от

достаточной величины анкеровки арматуры перекрытия в колонне и от достаточного продольного армирования плиты или балок перекрытия.

На основании описанного выше характера работы перекрытия можно сформулировать второй критерий стабилизации конструктивной системы: максимальное рассеивание кинетической энергии особого воздействия (локального разрушения колонны) будет достигнуто при конструировании и проектировании конструкций перекрытий, способных работать с максимальным мембранным эффектом.

При расчете конструкций перекрытия с использованием метода конечных элементов моделирование узлов балок и перекрытия, работающего в условиях мембранного эффекта, приведено на рис. 5.

Аналогичная модель узла применяется для расчетов на сейсмическую нагрузку конструкций [3].

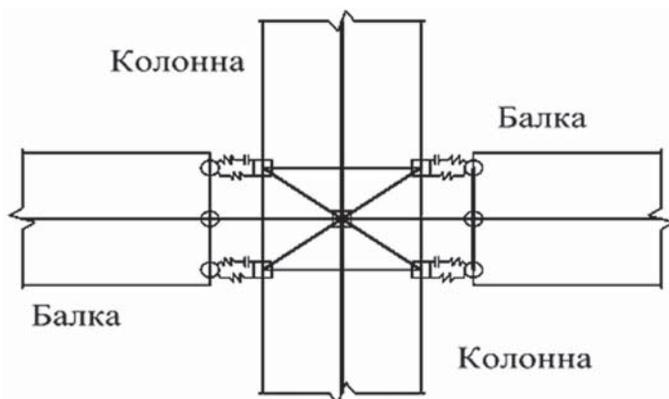


Рисунок 5. Модель узла соединения колонны с балкой (плитой) перекрытия, где  моделируется КЭ «gap element», то есть конечный элемент, моделирующий одностороннюю связь;  моделируется КЭ «truss element», то есть конечный элемент, моделирующий «нить» или элемент плоской фермы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особое внимание необходимо уделять соединению колонна-балка, колонна-плита, так как именно от целостности данного узла зависит развитие локального разрушения. В условиях больших срезающих усилий в данном узле значительную роль в их восприятии играет непрерывность продольного армирования, так как данные стержни выполняют главную, а при отсутствии поперечной арматуры, и единственную роль по удержанию пирамиды продавливания с оставшейся частью перекрытия. При этом влияние на восприятие среза арматурой, расположенной в верхней зоне перекрытия над удаленной колонной, минимально, так как при значительных деформациях происходит скол защитного слоя. Поэтому арматура верхней зоны не работает совместно с бетоном практически сразу после первых же значительных прогибах перекрытия.

Для развития мембранных эффектов в конструкциях перекрытия необходимо наличие сплошного верхнего и нижнего армирования с достаточной величиной анкеровки в узлах соединения колонна-перекрытие.

Для определения возможности стабилизации конструктивной системы в условиях прогрессирующего обрушения необходимо проверить два критерия с учетом приобретенной каркасом здания кинетической энергией особого воздействия.

На основании предложенной конечно-элементной модели узла с использованием нелинейного метода расчета можно получить достаточно точные значения мембранных усилий с учетом пластического метода расчета по трехшарнирной схеме.

Список цитированных источников

1. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования: учебное пособие для студентов строительных специальностей / Т.М. Пецольд [и др.]; под общ. ред. проф. Т.М. Пецольда и проф. В.В. Тура. — Минск: Издательство БНТУ, 2003. — 380 с.
2. Design of buildings to resist progressive collapse / James C Dalton, P.E. [et al.]. — USA, 2010, — 176 p.
3. Strength of connections in precast in concrete structures / Radomir Folic [et al.] // FACTA UNIVERITATIS. — 2011. — № 2. — p. 241—259.

Получено 17.09.12 г.